



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΡΟΥΣ ΚΟΣΤΟΥΣ
ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ
ΤΟΥ ΑΛΜΥΡΟΥ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ
ΒΙΩΣΙΜΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ**

Τσώτα Μαρία-Αθανασία

Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Νικήτας Μυλόπουλος

Βόλος, Οκτώβριος 2019



UNIVERSITY OF THESSALY

Polytechnic School

Department of Civil Engineering

DIPLOMA THESIS:

**EVALUATION OF THE FULL COST OF
IRRIGATION WATER IN ALMYROS
WATERSHED AND ALTERNATIVE SCENARIOS
FOR SUSTAINABLE MANAGEMENT**

Tsota Maria Athanasia

Supervisor: Prof. Nikitas Mylopoulos

Volos, October 2019

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά ουσιαστικά μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία, η οποία μπορεί να αποτελέσει μια σημαντική καινοτόμο λύση στη διαχείριση των υδατικών πόρων. Η αύξηση της ζήτησης νερού παγκοσμίως έχει οδηγήσει σε αύξηση της κατανάλωσης των διαθέσιμων υδατικών πόρων του πλανήτη. Η έννοια της Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων απασχολείται με την ορθολογική διαχείριση του υδατικού δυναμικού με στόχο τη βέλτιστη κάλυψη των υδατικών αναγκών. Η αξία του νερού για την κάλυψη των γεωργικών αναγκών, που παρουσιάζεται στη συνέχεια, όντας ένας από τους βασικότερους καταναλωτές των υδατικών αποθεμάτων υποδεικνύει την ανάγκη για μια σωστή διαχείριση του αρδευτικού νερού. Η ΟΠΥ 2000/60 εισάγει την οικονομική αξία και την πολιτική στη διαχείριση του νερού. Σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/EK το πλήρες κόστος νερού παρουσιάζεται ως άθροισμα τριών συνιστωσών: χρηματοοικονομικού κόστους, κόστους πόρων και περιβαλλοντικού κόστους. Στην παρούσα εργασία γίνεται εφαρμογή ενός υδρο-οικονομικού μοντέλου με βάση τον υπολογισμό του πλήρους κόστους νερού. Για την εκτέλεση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε η λεκάνη απορροής του Αλμυρού. Στην περιοχή μελέτης φαίνεται να απουσιάζουν τα επιφανειακά ύδατα με αποτέλεσμα η μόνη πηγή κάλυψης των αναγκών να είναι ο υπόγειος υδροφορέας. Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει σε υπεράντληση των υπόγειων αποθεμάτων του νερού και σε ταπείνωση της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα. Το πρόβλημα εντείνεται καθώς ως παράκτια περιοχή αντιμετωπίζει το φαινόμενο της υφαλμύρωσης, καθώς το θαλασσίνο νερό εισχωρεί στα υπόγεια σώματα. Αναπτύσσεται η μεθοδολογία του μοντέλου, η οποία προϋποθέτει αρχικά την εύρεση του υδατικού ισοζυγίου της περιοχής. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η εκτίμηση των υδατικών αναγκών σύμφωνα με τις δραστηριότητες των κατοίκων της περιοχής. Υπολογίζονται οι υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών, αφού η γεωργία έχει πρωταρχικό ρόλο στην περιοχή, ενώ ακολουθεί η αστική ζήτηση. Η δεύτερη συνιστώσα που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ισοζυγίου είναι η προσφερόμενη ποσότητα των υδάτων για την κάλυψη των αναγκών της μελετώμενης λεκάνης απορροής. Με τη βοήθεια υδρολογικού μοντέλου βρέθηκε η διαθέσιμη ποσότητα νερού και κατόπιν το υδατικό ισοζύγιο. Υπολογίστηκε τέλος το καθαρό κέρδος των αγροτών από την αγροτική δραστηριότητα καθώς και το πλήρες κόστος νερού. Αξίζει να σημειωθεί ότι για το πλήρες κόστος νερού εκτιμήθηκε το κόστος πόρου και το περιβαλλοντικό κόστος αλλά όχι το χρηματοοικονομικό, το οποίο λόγω της απουσίας ΤΟΕΒ(Τοπικού Οργανισμού Εγγείων Βελτιώσεων) είναι μηδενικό, παρόλο που τυπικά η ΔΕΥΑ Αλμυρού φέρεται ως υπεύθυνη για την παροχή και αρδευτικού νερού. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μέσω του υδρο-οικονομικού μοντέλου εξετάστηκαν υπό μια σειρά διαχειριστικών σεναρίων που χρησιμοποιήθηκαν ως εναλλακτικές για τη διαχείριση των υδατικών πόρων. Ως προσπάθεια κατανόησης και αντιμετώπισης του προβλήματος της υφαλμύρωσης και υποτίμησης του υπόγειου υδροφορέα της περιοχής αναπτύχθηκε η έννοια της επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων καθώς και οι κανόνες που ακολουθούνται παγκοσμίως πάνω σε αυτόν τον τομέα. Παρουσιάστηκαν ωστόσο και εναλλακτικές τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση των αλατούχων εδαφών, με αμφίβολες συνέπειες όμως για το περιβάλλον και πολλές από αυτές φαίνονται να έχουν μεγάλο λειτουργικό κόστος. Τα συμπεράσματα, που προκύπτουν από την πιθανή εφαρμογή της μεθόδου

επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων στη λεκάνη απορροής του Αλμυρού, αλλά και αυτά που εξήχθησαν από την εφαρμογή του υδρο-οικονομικού μοντέλου παρουσιάστηκαν στη τέλος της διπλωματικής εργασίας. Αυτό που προκύπτει ουσιαστικά από τη μεθοδολογία είναι η ανάγκη επιβολής ενός νέου συστήματος διαχείρισης των υδατικών πόρων κάθε λεκάνης απορροής που θα στοχεύει στην προστασία του υδατικού δυναμικού και θα έχει ως βάση την εφαρμογή μιας ορθής κοστολόγησης και τιμολόγησης νερού.

ABSTRACT

This diploma thesis is essentially an integrated methodology, which can be an important innovative solution to water resources management. Increasing water demand worldwide has led to an increase in the consumption of available water resources on the planet. The concept of Water Resources Management deals with the correct management of water resources in order to optimally meet water needs. The value of water to meet agricultural needs, presented below, being one of the major consumers of water supplies indicates the need for proper management of irrigation water. The WFD 2000/60 introduces the economic value and policy of water management. According to Directive 2000/60 / EC the full cost of water is presented as a sum of three components: financial costs, resource costs and environmental costs. In the present thesis, a hydro-economic model is implemented based on the calculation of the full cost of water. The Almyros basin was used to run the model. Surface waters appear to be absent in the study area and as a result the only source to meet the needs is the aquifer. This has led to over-pumping of underground water reserves and degradation of the underground aquifer. The problem is exacerbated as the coastal area faces the phenomenon of salinization, as seawater enters the bodies of groundwater. The methodology of the model is developed, which initially requires finding the area's water balance. For this reason, it is necessary to assess the water needs according to the activities of the locals. The aquatic needs of the crops are calculated, since agriculture has a leading role in the region, followed by urban demand. The second component used to calculate the balance is the amount of water available to meet the needs of the studied catchment area. With the use of a hydrological model, the available amount of water and then the water balance were found. Finally, the net profit of the farmers from the agricultural activity as well as the full cost of water was calculated. It is worth noting that for the full cost of water the cost of the resource and the environmental cost but not the financial cost were estimated, which due to the absence of TOEV (Local Land Improvement Organization) is zero, although DEYA Almyrou is typically held responsible for the provision and of irrigation water. The results obtained through the hydro-economic model were examined under a series of management scenarios used as alternatives to water resources management. As an effort to understand and address the problem of underwater aquifer and devaluation of the area's aquifer, the concept of reuse of treated wastewater was developed as well as the worldwide rules in this area. However, alternative techniques have been introduced that can be used to improve saline soils, but with dubious consequences for the environment and many of them appear to have high operating costs. The conclusions drawn from the possible application of the reuse of treated wastewater to the Saltwater Basin, as well as those derived from the application of the hydro-economic model, were presented at the end of the thesis. What emerges from the methodology is essentially the need for a new water resource management system for each river basin that aims at protecting water resources and based on the implementation of sound water costing and pricing.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συνέβαλαν στη διεκπεραίωσή της. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Νικήτα Μυλόπουλο για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος και την εμπιστοσύνη που έδειξε κατά την διεκπεραίωσή του. Επίσης οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον διδάκτορα Δρ. Άγγελο Αλαμάνο για την καθοδήγησή του, την πολύτιμη βοήθειά του και την άριστη συνεργασία μας κατά την εκπόνηση του συγκεκριμένου θέματος της διπλωματικής μου εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ABSTRACT	vii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1. Πρόβλημα λειψυδρίας	11
1.2. Διαχείριση Υδατικών Πόρων.....	12
1.3. Η αξία του νερού στη γεωργία.....	15
1.4. Υδρο-οικονομική μοντελοποίηση.....	16
1.5. Το πλήρες κόστος νερού ως αντικείμενο υδρο-οικονομικής μοντελοποίησης 17	
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	21
2.1. Γεωγραφική θέση περιοχής μελέτης.....	21
2.2. Στοιχεία περιβάλλοντος	22
2.3. Στοιχεία Γεωμορφολογίας, ανάγλυφου και υδρογραφικού δικτύου.....	23
2.4. Κλιματικά και μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης	26
2.4.1. Ανάλυση θερμοκρασιακών δεδομένων	26
2.4.2. Ανάλυση βροχομετρικών δεδομένων	28
2.4.3. Υπολογισμός Μέσης Επιφανειακής Δυνητικής Εξατμισοδιαπνοής.....	30
2.5. Διαχείριση Υδατικών Πόρων στη λεκάνη απορροής του Αλμυρού.....	31
3. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	32
3.1. Υδρολογικό μοντέλο UTHBAL	32
3.2. Γεωργικές Υδατικές ανάγκες.....	34
3.2.1. Κατανομή καλλιεργειών στη λεκάνη απορροής του Αλμυρού	35
3.2.2. Υπολογισμός αρδευτικών αναγκών.....	37
3.2.3. Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών	38
3.2.4. Ωφέλιμη (ενεργός) βροχόπτωση	40

3.2.5. Αποδοτικότητα άρδευσης.....	41
Πίνακας 3.7: Απαιτούμενη ποσότητα αρδευτικού νερού για τη λεκάνη απορροής του Αλμυρού, σύμφωνα με την κατανομή των καλλιεργειών το έτος 2009.	43
3.3. Υπολογισμός αστικής ζήτησης.....	43
4. ΥΔΡΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΠΛΗΡΕΣ ΚΟΣΤΟΣ ΝΕΡΟΥ.....	47
4.1. Ανάπτυξη υδρο-οικονομικού μοντέλου για την απεικόνιση πλήρους κόστους νερού	47
4.2. Υδατικό Ισοζύγιο	48
4.3. Καθαρά κέρδη από αγροτική δραστηριότητα.....	49
4.4. Κόστος φυσικού πόρου.....	51
4.9. Περιβαλλοντικό κόστος.....	54
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	60
6. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ	63
6.1. Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων.....	63
6.2. Ισχύουσα νομοθεσία επαναχρησιμοποίησης στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες.	64
6.3. Το πρόβλημα της υφαλμύρινσης στη λεκάνη απορροής του Αλμυρού	69
6.4. Μέθοδοι βελτίωσης αλατούχων εδαφών	70
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	74
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	78

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Πρόβλημα λειψυδρίας

Το νερό είναι ένα ανεκτίμητο στοιχείο άρρηκτα συνδεδεμένο με τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας. Αποτελεί ζωτικό πόρο για τα οικοσυστήματα, ενώ καλύπτει βασικές ανάγκες για τον ανθρώπινο πληθυσμό, αποτελώντας κλειδί για την ανάπτυξη στη γεωργία, την αλιεία, στην παραγωγή ενέργειας, τη βιομηχανία, στις μεταφορές και τον τουρισμό. Ιστορικά υπήρξε ένας βασικός κινητήριος μοχλός της οικονομικής, κοινωνικής και πολιτισμικής ανάπτυξης των χωρών παγκοσμίως. Είναι ένας ανανεώσιμος αλλά όχι ανεξάντλητος φυσικός πόρος. Η φαινομενική αφθονία του έχει ως αποτέλεσμα την αντιμετώπισή του ως δεδομένου αγαθού που παρέχεται και αντικαθίσταται από τη φύση μέσω του υδρολογικού κύκλου, με συνέπεια την αλόγιστη χρήση και ρύπανσή του ιδιαίτερα στις ανεπτυγμένες χώρες. Εκτιμάται ότι ο μέσος άνθρωπος στις ανεπτυγμένες χώρες χρησιμοποιεί 500-800 λίτρα νερού ανά ημέρα (300 m^3 ετησίως), σε σύγκριση με 60-150 ανά ημέρα (20 m^3 ετησίως) στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Ωστόσο το νερό που τελικά μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη των αναγκών, αποτελεί ένα ελάχιστο ποσοστό του συνόλου. Τη μερίδα του λέοντος στην κατανομή του νερού στη γη, σε ποσοστό συγκεκριμένα που φτάνει το 97.2%, κατέχει το αλμυρό νερό, το οποίο όσο τουλάχιστον η αφαλάτωση παραμένει οικονομικά ασύμφορη λύση, δεν προσφέρεται για αξιοποίηση και εκμετάλλευση. Στη συνέχεια, δεύτερο σε σειρά έρχεται το νερό με τη μορφή του χιονιού και των πάγων, σε ποσοστό 2.15%, ενώ το γλυκό νερό που υπολείπεται κατανέμεται σε υπόγειο νερό, σε ποσοστό 0.63% και σε επιφανειακό, σε νερό(λιμνών, ποταμών και υδρατμών), που καταλαμβάνει μόλις το 0.02% του συνολικού όγκου. Θα πρέπει στο σημείο αυτό να ληφθεί υπόψη, ότι η μισή περίπου ποσότητα του υπόγειου νερού βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο των 800 μέτρων, γεγονός που σημαίνει ότι το νερό αυτό παραμένει πρακτικά αναξιοποίητο.

Όταν το νερό δεν είναι επαρκές για την κάλυψη των αναγκών λόγω κακής διαχείρισης και ζήτησης πέρα από τις φυσικές δυνατότητες της εκάστοτε περιοχής δημιουργείται το πρόβλημα της λειψυδρίας. Η λειψυδρία μπορεί να είναι είτε φυσική, είτε οικονομική, είτε ποιοτική (Κουτσογιάννης, 2007).

Ως φυσική λειψυδρία χαρακτηρίζεται η κατάσταση κατά την οποία το διαθέσιμο νερό μέσω του υδρολογικού κύκλου δεν επαρκεί για την κάλυψη όλων των αναγκών. Η φυσική λειψυδρία έχει σοβαρές επιπτώσεις στα υδατικά συστήματα και πιο συγκεκριμένα οδηγεί στην περιβαλλοντική υποβάθμισή τους (αποξήρανση ποταμών, λιμνών, πτώση στάθμης υπόγειων υδροφορέων, ρύπανση κλπ.). Οικονομική λειψυδρία είναι η κατάσταση κατά την οποία δεν υπάρχουν οι απαραίτητες επενδύσεις για την κάλυψη των υδατικών απαιτήσεων. Ακόμα και σε περιπτώσεις που υπάρχουν διαθέσιμοι υδατικοί πόροι, περιορισμένοι οικονομικοί, ανθρώπινοι, θεσμικοί ή πολιτικοί παράγοντες καθιστούν αδύνατη την εκμετάλλευσή τους. Αυτό έχει ως συνέπεια την ανεπαρκή ανάπτυξη των υποδομών, την κακή ή ελλιπή συντήρησή τους, την υψηλή ευαισθησία στις εποχιακές διακυμάνσεις του νερού (πλημμύρες, ξηρασίες)

και την άνιση κατανομή του νερού, ακόμη και αν υπάρχει υποδομή. Η ποιοτική λειψυδρία περιλαμβάνει το νερό που είναι ακατάλληλο για χρήση λόγω κακής χημικής κατάστασης. Μπορεί να θεωρηθεί υποκατηγορία της οικονομικής λειψυδρίας καθώς χρειάζονται υποδομές για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού.

Η Ελλάδα βρίσκεται αρκετά μακριά από το όριο λειψυδρίας και σε καλύτερη κατάσταση συγκριτικά με αρκετές Ευρωπαϊκές χώρες. Ο συνολικός όγκος νερού των κατακρημνισμάτων (βροχή και χιόνι) εκτιμάται σε 115 δισεκατομμύρια m^3 /έτος. Τα συνολικά ανανεώσιμα αποθέματα νερού ανέρχονται σε 70 δισεκατομμύρια m^3 /έτος και η συνολική αντίστοιχη κατανάλωση σε 5.5 δισεκατομμύρια m^3 . Η Ελλάδα λοιπόν φαίνεται να ευημερεί και να έχει άφθονο νερό για να καλύψει τις συνολικές της ανάγκες δημιουργώντας έτσι στην κοινωνία μία «ψευδαίσθηση της αφθονίας» του νερού, η οποία δεν λαμβάνει υπόψη μία σειρά πολύ συγκεκριμένων προβλημάτων. Πιο συγκεκριμένα η μεγάλη χωρική και χρονική ανισοκατανομή (ψηλά βουνά με πλούσια υδατικά αποθέματα και παράκτιες ή νησιωτικές περιοχές με προβλήματα αποθεμάτων νερού, με υγρούς χειμώνες και ζεστά άνυδρα καλοκαίρια), η υφαλμύρωση των υδροφορέων των παράκτιων και νησιωτικών περιοχών, η υπεράντληση αποθεμάτων νερού των υπόγειων υδροφορέων, η υποτιμολόγηση της αξίας του νερού, η ανυπαρξία μιας ενιαίας πολιτικής σε θέματα νερού στη χώρα μας καθώς και η ποιοτική υποβάθμιση και ο υποβιβασμός της στάθμης των υδροφορέων ευθύνονται για πολλά προβλήματα λειψυδρίας σε πολλές περιοχές της Ελλάδας. Θετικό θεωρείται παρ' όλα αυτά το στοιχείο, όσον αφορά στην κατάσταση των υδατικών πόρων της χώρας μας, ότι η Ελλάδα έχει πολλές λεκάνες απορροής, οπότε και η ρύπανση περιορίζεται.

1.2.Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Ο όρος "Διαχείριση των Υδατικών Πόρων" περιγράφει το σύνολο των μεθόδων και δραστηριοτήτων που απαιτούνται για την ορθολογική αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού, με στόχο την πληρέστερη δυνατή κάλυψη των αναγκών σε νερό (Μυλόπουλος, 2006). Ουσιαστικά συμπεριλαμβάνονται τόσο επιστημονικές μέθοδοι και τεχνικές, όσο και επιχειρησιακές επεμβάσεις και διοικητικά μέτρα, τα οποία στοχεύουν στη μετατροπή της κατάστασης των υδατικών συστημάτων, προκειμένου να προκύπτει το μέγιστο δυνατό όφελος από την εκμετάλλευσή τους, σύμφωνα με τα κριτήρια, τις προτεραιότητες και τους στόχους που έχουν προκαθοριστεί (Serageldin, 1995).

Η επιστημονική περιοχή της Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων καλύπτει επίσης την περιοχή της μελέτης των φυσικών φαινομένων που σχετίζονται με το νερό, προκειμένου να χρησιμοποιήσει τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής στην επιχειρησιακή κατεύθυνση της αξιοποίησης του υδατικού δυναμικού, με στόχο την ικανοποίηση των πάσης φύσεως αναγκών σε νερό. Συνεπώς ο όρος "Διαχείριση Υδατικών Πόρων" αναφέρεται, στο κύριο μέρος του στην υδρολογική, επεκτείνεται όμως και στην επιχειρησιακή διάσταση του θέματος. Η Διαχείριση των Υδατικών Πόρων αναφέρεται και καλύπτεται επομένως στη φυσική αλλά και στην κοινωνικοοικονομική διάσταση (Μυλόπουλος, 2006).

Η μεν φυσική διάσταση, όπως καταλαβαίνουμε και από την ονομασία αναφέρεται στην φυσική προσφορά σε νερό, δηλαδή σε ότι σχετίζεται με τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους και σε ότι σχετίζεται με την κατανομή τους στη φύση, αλλά και με τη δυναμική τους στον χώρο και το χρόνο. Η δε κοινωνικοοικονομική διάσταση άπτεται της αξιοποίησης των υδατικών πόρων στην κάλυψη των υδατικών αναγκών. Σχετίζεται κυρίως με τους παράγοντες που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τη ζήτηση του νερού αλλά και με τον ορθολογικό σχεδιασμό για την αξιοποίηση των υδατικών αποθεμάτων και την κατανομή τους στις διάφορες χρήσεις και δραστηριότητες προκειμένου να επιτευχθεί το μέγιστο δυνατό όφελος.

Αντιλαμβανόμαστε συνεπώς ότι η Διαχείριση Υδατικών Πόρων είναι μία σύνθετη και διεπιστημονική διαδικασία, όπου εμπερικλείει κλάδους όπως η υδρολογία, η υδραυλική, η γεωλογία, η υδρογεωλογία, η εδαφολογία, η μορφολογία του εδάφους, η μετεωρολογία, η πληροφορική, η κοινωνιολογία, η πολιτική επιστήμη, τα οικονομικά, η νομική, η στατιστική και η θεωρία πιθανοτήτων, η επιχειρησιακή έρευνα και η ανάλυση συστημάτων (Βασιλειάδης, 2017).

Η Διαχείριση των Υδατικών Πόρων απασχολείται κυρίως:

1. Με τη διευθέτηση της φυσικής προσφοράς του νερού σε σχέση με τη ζήτηση. Δηλαδή με την κατάλληλη μελέτη για την καλύτερη αξιοποίησή του διαθέσιμου υδατικού δυναμικού, τη δυνατότητα αναζήτησης και εύρεσης νέων πόρων νερού και ο σχεδιασμός κατάλληλων έργων για συλλογή, αποθήκευση αλλά και μεταφορά των υδατικών πόρων, με σκοπό να καλυφτούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο οι υπάρχουσες και οι μελλοντικές ανάγκες σε νερό.
2. Με τη διευθέτηση της ζήτησης του νερού σε σύγκριση με τη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων. Ο καθορισμός δηλαδή πρακτικά των αναγκών και δραστηριοτήτων που καταναλώνουν νερό, με γνώμονα τις υπάρχουσες φυσικές δυνατότητες των υδατικών πόρων.
3. Με την αντιμετώπιση των ανοιγμάτων ανάμεσα σε προσφορά και ζήτηση του νερού. Πιο συγκεκριμένα η εκπόνηση υδατικών ισοζυγίων και ισοζυγίων προσφοράς και ζήτησης νερού σε επίπεδο υδρολογικής λεκάνης ή και υδατικού διαμερίσματος.
4. Με την εξομάλυνση των συγκρούσεων ανάμεσα στις ανταγωνιστικές χρήσεις. Οι υδατικοί πόροι είναι πεπερασμένοι ποσοτικά και επιπλέον δεν υπάρχει δυνατότητα ελέγχου ή επέμβασης στην ανανέωσή τους, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη μια διαδικασία αξιολόγησης αναγκών, ιεράρχησης προτεραιοτήτων και επίλυσης διαφορών, ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες κατά τρόπο δίκαιο, ωφέλιμο και ορθολογικό.
5. Με την πρόληψη των απωλειών του νερού και την αξιοποίηση των πλεονασμάτων. Έχει προκύψει μια λανθασμένη αξιοποίηση έως τώρα του διαθέσιμου υδατικού δυναμικού εξ' αιτίας των απωλειών από τα τεχνικά έργα και υδραυλικά δίκτυα αλλά και του κακού υπολογισμού ή των μεταβολών σε βασικούς παράγοντες σχεδιασμού.
6. Με την προστασία και διατήρηση της ποιότητας του νερού. Είναι εμφανές ότι η προστασία και η διατήρηση της ποιότητας του νερού σε επιτρεπτά επίπεδα

αποτελεί την απαραίτητη προϋπόθεση τόσο για την κάλυψη της ζήτησης όσο και την ικανοποίηση των αναγκών. Ο σχεδιασμός επομένως των έργων προστασίας ή και αποκατάστασης των υδατικών πόρων, καθώς και η εκτίμηση των επιπτώσεων στα υδατικά συστήματα από την εκτέλεση και λειτουργία των υδραυλικών ή και των άλλου είδους τεχνικών έργων, κρίνεται απαραίτητος και πρέπει να εξετάζεται σύμφωνα με τις αρχές της Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων.

7. Με το συντονισμό των δραστηριοτήτων έρευνας, αξιοποίησης, χρήσης και προστασίας των υδατικών πόρων. Βασική αρμοδιότητα της διαχείρισης υδατικών πόρων είναι ο συντονισμός όλων των επιμέρους προαναφερθέντων δραστηριοτήτων στην κατεύθυνση της ενιαίας και συνολικής αντιμετώπισης του ζητήματος της ορθολογικής ικανοποίησης των υδατικών αναγκών.

Η διαχείριση των Υδατικών Πόρων θα πρέπει να συμβαδίζει σύμφωνα με τους όρους που επιβάλει η Αειφόρος ανάπτυξη. Ο όρος "Βιώσιμη" ή Αειφόρος ανάπτυξη ή διαχείριση, έχει βλέψεις στη διατήρηση και τη συνέχιση της ζωής στον πλανήτη. Πιο συγκεκριμένα η προσπάθεια για την κάλυψη των υδατικών αναγκών σήμερα δεν πρέπει να αποτελεί τροχοπέδη στην αντίστοιχη προσπάθεια των μελλοντικών γενιών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες.

Η διαχείριση των υδατικών πόρων μπορεί να παραλληλιστεί με μία οικονομική δραστηριότητα με συγκεκριμένες απαιτήσεις, που υπόκειται όμως στους νόμους της προσφοράς και της ζήτησης. Η διαφορά της Διαχείρισης Υδατικών Πόρων από την Οικονομική Θεωρία, είναι ουσιαστικά και η διαφορά – ιδιαιτερότητα του νερού σε σχέση με τα υπόλοιπα οικονομικά αγαθά: πρόκειται για φυσικό περιβαλλοντικό αγαθό σε συνθήκες ανεπάρκειας, με έντονα κοινωνικό χαρακτήρα, έντονη ανισοκατανομή και μεταβλητότητα στο χώρο και το χρόνο (Τσακίρης, 1995).

Σύμφωνα με τα θεσμικά πλαίσια που αφορούν στη διαχείριση των υδατικών πόρων, το σύστημα διαχείρισης ορίζεται σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού, και όχι διοικητικών ορίων, κάτι που απαιτεί συνεργασία των αρμόδιων φορέων και συμμετοχικό σχεδιασμό. Το 2000 συστάθηκε η Ευρωπαϊκή Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα (ΟΠΥ) 2000/60/ΕΚ, η οποία ισχύει μέχρι και σήμερα και έχει ως στόχο την διατήρηση της κατάστασης των υδάτων σε ένα καλό επίπεδο αλλά και την ανάκαμψη όλων των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Επίσης η Οδηγία αυτή προτείνει την εφαρμογή οικονομικών αρχών και εργαλείων ως βασικά μέτρα για την επίτευξη συγκεκριμένων περιβαλλοντικών στόχων. Πιο αναλυτικά η ανάκτηση κόστους δεν περιορίζεται στο άμεσο κόστος παροχής υπηρεσιών αλλά αναφέρεται και στα κόστη που σχετίζονται με τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι συνιστώσες του κόστους νερού που πρέπει να υπολογιστούν είναι:

1. Το χρηματοοικονομικό (άμεσο) κόστος, που περιλαμβάνει τα κόστη κεφαλαίου, λειτουργίας και συντήρησης των έργων, διαχειριστικά και διοικητικά κόστη και άλλα άμεσα οικονομικά κόστη (π.χ. επενδύσεων).
2. Το κόστος των φυσικών πόρων, το οποίο αντιπροσωπεύει την απώλεια οφέλους λόγω του περιορισμού των διαθέσιμων υδατικών πόρων σε βαθμό μεγαλύτερο από το φυσικό ρυθμό ανανέωσης τους (WATECO, 2002).

3. Το περιβαλλοντικό κόστος που αντιπροσωπεύει το κόστος από τις επιπτώσεις που προκαλούν οι χρήσεις νερού στο περιβάλλον και τα υδάτινα οικοσυστήματα (υποβάθμιση φυσικών πόρων)(WATECO, 2002).

Συνεπώς η αποτίμηση της πλήρους αξίας του νερού κρίνεται επιβεβλημένη, σύμφωνα με την οποία στη συνέχεια θα προκύψει και η τιμολόγησή του, γεγονός που αποτελεί και το κύριο οικονομικό εργαλείο της Διαχείρισης Υδατικών Πόρων.

1.3.Η αξία του νερού στη γεωργία

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η γεωργία αποτελεί τον μεγαλύτερο τομέα κατανάλωσης νερού, απαρτίζοντας το 70% της υφιστάμενης κατανάλωσης υδατικών πόρων στον πλανήτη. Επομένως είναι μεγαλύτερη η ανάγκη για κοστολόγηση του αρδευτικού νερού σε σχέση με τις υπόλοιπες χρήσεις του, καθώς οι αρδεύσεις συνδέονται άμεσα με το γεωργικό εισόδημα και κατά συνέπεια με τον κοινωνικό χαρακτήρα του νερού.

Κρίνεται αναγκαία η εφαρμογή επενδύσεων στα αρδευτικά συστήματα, καθώς περιορίζουν τους κινδύνους χαμηλής απόδοσης ή ακόμα και καταστροφής των καλλιεργειών, που μπορεί να προέλθουν εξαιτίας περιορισμένων ή και χρονικά ανισοκατανεμημένων βροχοπτώσεων. Οι επενδύσεις αυτές μπορούν, επίσης, να μειώσουν την ανεργία και να επιφέρουν σημαντική οικονομική ανάπτυξη στις αγροτικές περιοχές (Young and Haveman, 1985). Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η άρδευση μειώνει και τον κίνδυνο που αναλαμβάνουν οι γεωργοί κατά τις εποχιακές τους επενδύσεις σε μεταβλητές δαπάνες, όπως είναι για παράδειγμα: η προετοιμασία του εδάφους, οι σπόροι, τα λιπάσματα, και τα φυτοφάρμακα (Hofmann et al., 1990). Βέβαια το μεγαλύτερο όφελος διεθνώς είναι η εξασφάλιση παραγωγής τροφίμων, η οποία κρίνεται αναγκαία λόγω της συνεχούς αύξησης του πληθυσμού.

Το αρδευτικό νερό στην περίπτωση των αρδεύσεων αποτελεί ενδιάμεσο αγαθό που χρησιμοποιείται ως εισροή για την αγροτική παραγωγή (Λατινόπουλος, 2006). Ωστόσο η προσπάθεια πολλές φορές των αγροτών να μεγιστοποιήσουν το κέρδος τους οδηγεί σε υπερλίπανση και υπεράντληση νερού με αποτέλεσμα την ποσοτική και ποιοτική υποβάθμισή του, αλλά και την πτώση στάθμης των υπόγειων υδροφορέων. Ειδικότερα στην Ελλάδα, το 40% του συνολικού νερού άρδευσης αντλείται από υπόγειους υδροφορείς, με έντονες ωστόσο τοπικές διαφοροποιήσεις (Χατζηλάκου, 2001). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, σε αρκετές παραθαλάσσιες πεδινές περιοχές, όπως και στη λεκάνη απορροής που μελετάμε, να παρουσιάζεται διείσδυση θαλασσινού νερού στα υδατικά συστήματα και υφαλμύρωση των υδροφόρων στρωμάτων.

Κρίνεται λοιπόν αναγκαία μια ορθολογική διαχείριση της αξίας του αρδευτικού νερού. Η σημασία της διαχείρισης του αρδευτικού νερού ενισχύεται και από το γεγονός ότι οι ανάγκες σε τρόφιμα αυξάνονται, όμως η γεωργική γη δε δύναται να επεκταθεί, με αποτέλεσμα να αυξηθούν στο μέλλον οι αρδευτικές απαιτήσεις (Latinopoulos, 2002). Δεδομένης της ύπαρξης πολλών ανταγωνιστικών χρήσεων νερού προς ικανοποίηση, η διαχείριση του αγροτικού νερού είναι πλέον επιτακτική ώστε να μεγιστοποιηθεί η αποτελεσματικότητα στη χρήση του, να εξασφαλιστεί η βιωσιμότητα της γεωργίας, και να κυριαρχήσει η θετική συμβολή της στα οικοσυστήματα(Αλαμάνος, 2019).

Το αρδευτικό νερό προέρχεται από υδατικούς πόρους με πολλαπλές δυνητικές χρησιμότητες και συχνά ανήκει σε ένα ευρύτερο οικοσύστημα με ποικίλες περιβαλλοντικές λειτουργίες. Επομένως η αξία του πρέπει να συμπεριλαμβάνει (όσο είναι δυνατόν) και τις υπόλοιπες χρηστικές και μη χρηστικές αξίες του (Hoekstra et al., 2005). Από τη στιγμή που η ΟΠΥ 2000/60 εισήγαγε την εφαρμογή οικονομικών εργαλείων και την πολιτική στη διαχείριση νερού, δημιούργησε ευκαιρίες για την ανάπτυξη διεπιστημονικών πεδίων (Heinz et al., 2007). Η προσέγγιση των παραπάνω επιδιώξεων έγινε μέσω των υδρο-οικονομικών μοντέλων (hydro-economic models).

1.4.Υδρο-οικονομική μοντελοποίηση

Τα υδρο-οικονομικά μοντέλα περιλαμβάνουν μοντέλα μηχανικής, υδρολογίας και οικονομικών (Booker et al., 1995). Συνδυάζοντας την υδρολογική και την οικονομική πλευρά των προβλημάτων συνεισφέρουν σημαντικά στην ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων, κάνοντάς την ορθολογικότερη και πιο ευέλικτη (Lund et al., 2006). Τα υδρο-οικονομικά μοντέλα έχουν εφαρμοστεί για αστική χρήση νερού (Rogers et al., 2002; Dalhuisen et al., 2003; Rosenberg et al., 2007), ωστόσο συνεχίζει να αποτελεί πρόκληση η εφαρμογή τους στο αγροτικό νερό. Μέχρι σήμερα, τα υδρο-οικονομικά μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως για:

α) αύξηση της αγροτικής παραγωγής ή/και εισοδήματος (Rosegrant et al., 2005; Volk et al., 2008; Peña-Haro et al., 2009; Blanco-Gutiérrez et al., 2013),

β) την αποτελεσματική κατανομή και πολιτικές βέλτιστης εκμετάλλευσης υπογείων υδάτων (Lund et al., 2006; Harou and Lund, 2008; Varela- Ortega et al., 2011), και

γ) την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή (D'Agostino et al., 2014; Hurd and Coonrod, 2012; Jeuland, 2010; Medellín-Azuara et al., 2011).

Η αυξανόμενη χρήση τους συνοδεύτηκε από την έκδοση αρκετών εγχειριδίων ανάπτυξης και χρήσης τους (Gibbons, 1986; Tsur et al., 2004; Fisher et al., 2005; Griffin, 2006; Harou et al. 2009). Ωστόσο κάποιες δυσκολίες περιορίζουν σημαντικά το σχεδιασμό, την εφαρμογή και χρήση ενός ολοκληρωμένου υδρο-οικονομικού μοντέλου τόσο στη γεωργία αλλά και σε γενικότερο επίπεδο.

Αναλυτικότερα ένα υδρο-οικονομικό μοντέλο ενσωματώνει τις αδυναμίες των υδρολογικών και των οικονομικών μοντέλων (Jakeman et al., 2006). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα δεδομένα που καλούνται να προσομοιωθούν, συμβαίνουν με διαφορετικούς ρυθμούς χρονικά, μη συγκρίσιμες μονάδες μέτρησης, τα οποία συμβαίνουν σε διαφορετικά διοικητικά και υδρολογικά όρια, ενώ αλληλεπιδρούν συχνά και με πολλές, δύσκολες στην πρόβλεψη τους εξωτερικές παραμέτρους (κοινωνικοοικονομικές, επιδοτήσεις, τιμές προϊόντων, κλπ.). Η μαθηματική διαμόρφωση των παραπάνω είναι ένα επιπρόσθετο εμπόδιο, καθώς δεν υπάρχουν πάγιοι κανόνες και οδηγίες για την καλύτερη προσέγγιση των μοντέλων, λόγω της ιδιαιτερότητας του κάθε προβλήματος και της σκοπιμότητας κάθε μοντέλου.

Επιπρόσθετα σημαντικές είναι οι δυσκολίες στη λήψη αποφάσεων για την επίλυση κάθε μοντέλου, τα αποτελέσματα και τις λύσεις που θα εξάγει. Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι δύσκολη και η εύρεση κατάλληλου πλήθους δεδομένων για την επίλυση του

εκάστοτε υδρο-οικονομικού μοντέλου, που απαιτεί αντίστοιχο πλήθος παραμέτρων. Συγκεκριμένα τα ολοκληρωμένα περιβαλλοντικά, υδρολογικά και οικονομικά μοντέλα απαιτούν και αντίστοιχα δεδομένα (Brouwer and Hofkes, 2008). Στις περισσότερες λεκάνες απορροής υπάρχει έλλειψη τέτοιων δεδομένων και εμπειρίας τέτοιου είδους μοντελοποίησης.

Εξαιτίας όλων των παραπάνω είναι απαραίτητο να γίνουν κάποιες απλοποιήσεις και παραδοχές(π.χ. γραμμικοποίηση μη γραμμικών συναρτήσεων), με τέτοιο τρόπο ώστε να μην επηρεάζουν τη συνοχή και την αξιοπιστία του μοντέλου.

Στην περίπτωση γεωργικών υδρο-οικονομικών μοντέλων, οι αρδευτικές απαιτήσεις αναπαρίστανται συχνά με συναρτήσεις παραγωγής χρήσης νερού και απόδοσης καλλιεργειών (Moore et al., 1994; Dinar and Letey, 1996; Cai et al., 2003), θετικό μαθηματικό προγραμματισμό (Howitt, 1995) και καμπύλες ζήτησης νερού ή ελαστικότητες τιμών (Tsur et al., 2004). Επομένως μειώνεται αυτόματα η χρησιμότητα του μοντέλου αυτού, καθώς υπάρχει πιθανότητα να είναι αρκετά περίπλοκο και με πολλές αβεβαιότητες.

Επιπλέον η ενεργός συμμετοχή(public involvement) διαφορετικών χρηστών, αρχών, φορέων και ΜΚΟ, είναι απαραίτητη προϋπόθεση για μια ολοκληρωμένη διαχείριση. Τα υδρο-οικονομικά μοντέλα «μετατρέπουν» τις παραμέτρους των υδρολογικών συστημάτων και τις αρχές της οικονομικής διαχείρισης σε πιο κατανοητούς όρους για τη διευκόλυνση της διαχείρισης (Heinz et al., 2007). Το βασικό πρόβλημα των υδρο-οικονομικών μοντέλων όμως, είναι ότι έχουν αναπτυχθεί και έχουν μείνει κυρίως στους ακαδημαϊκούς κύκλους μέχρι σήμερα, αντί να συνεισφέρουν πρακτικά στη χάραξη πολιτικής (Harou et al., 2009).

Συνεπώς είναι σημαντικό να απαντηθούν δύο βασικά ερωτήματα της υδρο-οικονομικής μοντελοποίησης, δηλαδή:

1. Πώς είναι δυνατή η ανάπτυξη των μοντέλων αυτών χωρίς πλήρη και ακριβή δεδομένα;
2. Με ποιόν τρόπο μπορούν τα υδρο-οικονομικά μοντέλα να ενσωματωθούν στη χάραξη πολιτικής και το σχεδιασμό, αποκτώντας ενεργό ρόλο και έξω από τους ακαδημαϊκούς κύκλους;

1.5. Το πλήρες κόστος νερού ως αντικείμενο υδρο-οικονομικής μοντελοποίησης

Η υποβάθμιση της αξίας του νερού συνεχίζει τη νοοτροπία αντιμετώπισής του ως ανεξάντλητο πόρο, που οδηγεί στην υπερεκμετάλλευσή του και σε περιβαλλοντικά και οικονομικά προβλήματα (Gleick, 2003). Η αναγνώριση της αξίας του πόρου γίνεται συχνά κατανοητή εκ των υστέρων, λόγω της ζημίας που προκαλούν οι λανθασμένες πολιτικές διαχείρισής του (Λατινόπουλος, 2006). Η ΟΠΥ 2000/60, μέσω της αναγνώρισης της αξίας του νερού στοχεύει στην αποφυγή και τον περιορισμό αυτών των προβλημάτων και στη βιώσιμη χρήση του νερού. Μέσω της έννοιας του πλήρους κόστους νερού, όπως αναπτύχθηκε παραπάνω, στοχεύει στην ποιοτική και ποσοτική προστασία της αναβάθμισης των υδάτων. Η δυσκολία όμως έγκειται στη διαδικασία εκτίμησης του πλήρους κόστους.

Αναλυτικότερα, το χρηματοοικονομικό κόστος, όντας η βασική συνιστώσα του πλήρους κόστους, η κάλυψή του αποτελεί προϋπόθεση για τη συνέχιση της παροχής υπηρεσιών ύδατος. Η αποτυχία πλήρους κάλυψης του άμεσου αυτού κόστους είναι υπεύθυνη για τις απώλειες που παρατηρούνται στα δίκτυα και δημιουργεί την ανάγκη κρατικών επιχορηγήσεων στους χρήστες (Massarutto, 2003). Είναι η πιο εύκολα υπολογίσιμη συνιστώσα, καθώς η εκτίμησή του στηρίζεται σε λογιστικές αρχές. Παρ' όλα αυτά αντιμετωπίζει βασικές δυσκολίες λόγω της έλλειψης οικονομικών δεδομένων, της πληρότητας των ισολογισμών των υπηρεσιών παροχής (αγροτικού κυρίως) νερού, και την αδυναμία ολοκληρωμένης καταγραφής των εισροών και των εκροών τους. Αποτελείται από τις εξής επιμέρους συνιστώσες (WATECO, 2002):

1. Κόστος Κεφαλαίου:

Συμπεριλαμβάνει όλους τους πόρους που είναι διαθέσιμοι για την παραγωγή αγαθών και υπηρεσιών που ικανοποιούν τις ανθρώπινες ανάγκες ή είναι άμεσα μετατρέψιμοι σε χρηματικές μονάδες. Επομένως, η αξία του χρηματικού κεφαλαίου δεν είναι σταθερή στο χρόνο (Αλαμάνος Α., 2017). Απαραίτητο για τον υπολογισμό του είναι η αφαίρεση των αποσβέσεων του. Ως απόσβεση εννοείται η λογιστική διαπίστωση της ζημιάς που προκαλείται στην αξία του ενεργητικού με τη χρήση ή με την πάροδο του χρόνου. Η μεταβολή της αξίας του χρηματικού κεφαλαίου στο χρόνο καθορίζεται από το επιτόκιο, δηλαδή από τη σταθερή χρονικά προσαύξηση ενός αρχικού χρηματικού ποσού που αποταμιεύεται (π.χ. σε μια τράπεζα). Η προσθήκη αυτή στο αρχικό κεφάλαιο λογίζεται ως ανατοκισμός. Η πρακτική αυτή συνίσταται στην αφαίρεση ενός συγκεκριμένου ποσού από τα ακαθάριστα κέρδη σε ετήσια βάση, μέχρι το άθροισμα των ετήσιων αποσβέσεων να εξισωθεί με την αξία αγοράς των πάγιων στοιχείων. Η απόσβεση δε συμπεριλαμβάνεται στις δαπάνες λειτουργίας, καθώς δεν αποτελεί ταμιακή ροή.

2. Κόστη Λειτουργίας και Συντήρησης:

Η κατηγορία αυτή απαρτίζεται από τα καθημερινά κόστη που αντιμετωπίζει η εταιρεία, προκειμένου το δίκτυο παροχής νερού να παραμένει σε μία σχετικά καλή κατάσταση ώστε να καλύπτει τουλάχιστον μία ορισμένη στάθμη ποιότητας υπηρεσιών, για την οποία έχει δεσμευτεί και θεωρεί σημαντική. Συγκαταλέγεται το εργατικό κόστος, το κόστος των χημικών, κατανάλωσης ενέργειας, το κόστος εργασιών τρίτων και ο σχεδιασμός ολοκλήρωσης του συστήματος παροχής νερού καθώς μπορεί να ολοκληρωθεί σε πολλά στάδια, ακόμα και δεκαετίες. Το λειτουργικό κόστος θεωρείται σταθερό κόστος (fixed cost), σε σχέση με τα άλλα κόστη (Drafting Group ECO1, 2004). Το κόστος συντήρησης, αφορά τα κόστη που συντελούν στη διατήρηση της σωστής λειτουργίας των υφιστάμενων ή νέων εγκαταστάσεων μέχρι το τέλος της διάρκειας ζωής τους, και εκτιμάται σε χρηματικές μονάδες ανά χρονική περίοδο (€/χρονικό διάστημα) ως συνάρτηση της παροχής, της μέσης πίεσης δικτύου και του μήκους των αγωγών ή καναλιών μέχρι την είσοδο της περιοχής που μελετάται, και στη συνέχεια να αθροιστεί για το σύνολο του δικτύου (Αλαμάνος Α. 2018). Στις περιόδους αιχμής (αρδευτική περίοδος Απριλίου – Οκτωβρίου), η τιμολόγηση διαφέρει από αυτή της χειμερινής περιόδου.

3. Κόστος Διοίκησης:

Το κόστος αυτό συνδέεται με την εκτέλεση διοικητικών και συντονιστικών δραστηριοτήτων, όπως αγορές ειδών γραφείου (π.χ. χαρτί εκτύπωσης, φάκελοι, ετικέτες κλπ.), ταχυδρομικά έξοδα ή έξοδα παραδόσεων, δαπάνες χρήσης παροχών Οργανισμών Κοινής Ωφέλειας (π.χ. ηλεκτρικό ρεύμα, νερό, τηλεπικοινωνίες), ανθρώπινου δυναμικού (αμοιβές προσωπικού, επιβραβεύσεις απόδοσης, κόστη ταξιδιού και έξοδα ασφάλισης), συνδρομές σε τεχνικούς και επαγγελματικούς οργανισμούς καθώς και οι αποσβέσεις των παγίων περιουσιακών στοιχείων. Αποτελεί έμμεσο κόστος και πολλές φορές δεν μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια, χωρίς να ξεκινήσει η εταιρία τη λειτουργία της καθώς μετέπειτα προκύπτουν πολλά προβλήματα και δαπάνες. Προσδιορίζεται συνήθως ως ποσοστό επί των μισθών και των λοιπών αμοιβών, ή του συνολικού άμεσου κόστους.

4. Λοιπά Άμεσα Κόστη:

Εντάσσονται σε αυτή την υποκατηγορία όλα τα άλλα χρηματοοικονομικά έξοδα που μπορεί να προκύψουν σε μία εταιρεία, κυρίως στις επενδύσεις της, όπως εξοπλισμού/μηχανημάτων, κόστος νέων έργων κ.ά., αλλά και κόστη σχετικά με τις παραγωγικές απώλειες από απαγορευτικά μέτρα, όπως μείωση της αγροτικής παραγωγής λόγω της δημιουργίας μιας προστατευόμενης περιοχής.

Το κόστος πόρου αναφέρεται στη ζημιά που προκαλεί το έλλειμμα του υδατικού ισοζυγίου, ωστόσο οι διάφοροι ορισμοί που έχουν δοθεί δυσκολεύουν την εκτίμησή του. Η συνιστώσα αυτή του πλήρους κόστους αντιμετωπίζεται ως:

1. Απώλεια οφέλους λόγω του περιορισμού των διαθέσιμων υδατικών πόρων σε βαθμό μεγαλύτερο από το φυσικό ρυθμό ανανέωσης τους (WATECO, 2002).
2. Η διαφορά της υπάρχουσας από τη βέλτιστη κατανομή (WATECO, 2002). Για περιοχές που έχουν αποθέματα νερού, όταν το νερό δε διατίθεται στη βέλτιστη χρήση του, ενώ υπάρχουν άλλες χρήσεις που αποφέρουν μεγαλύτερο κέρδος (Καλιαμπάκος και Δαμίγος, 2008).
3. Συνύπαρξη των δύο τελευταίων ορισμών, δηλαδή διαφυγόντα κέρδη και διαφορά από τη βέλτιστη κατανομή, όπου είναι και ο ορισμός που υιοθέτησε και το ΥΠΕΚΑ (2012).
4. Το κόστος ευκαιρίας από την κατανομή του νερού υπό συνθήκες έλλειψης στις επιμέρους χρήσεις, συνδέοντας το με τη μη – οικονομικά αποδοτική χρήση, τόσο χωρικά όσο και σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (ανεξαρτήτως ελλειμματικού ή πλεονασματικού υδατικού ισοζυγίου). Ο ορισμός αυτός στηρίζεται στο ότι η ολική οικονομική αξία ενός περιβαλλοντικού αγαθού είναι η αξία χρήσης και η αξία μη χρήσης ή διατήρησης (Καλιαμπάκος και Δαμίγος, 2008; Tietenberg and Lewis, 2011). Γενικότερα, είναι το κόστος που δημιουργεί η σπανιότητα νερού (ορισμός οικονομικού προβλήματος) (Tietenberg and Lewis, 2011).

Το περιβαλλοντικό κόστος έχει επίσης διαφορετικούς ορισμούς, αναφέρεται όμως κατά βάση στην ποιοτική υποβάθμιση του νερού. Οι ορισμοί που δόθηκαν είναι οι εξής:

1. Ορίζεται ως η ζημία που προκαλούν οι χρήσεις ύδατος στο περιβάλλον και τα υδατικά οικοσυστήματα, καθώς και εκείνοι που χρησιμοποιούν το περιβάλλον (WATECO, 2002).

2. Ποσοτικοποίηση της περιβαλλοντικής ευημερίας (αξίας) σε χρηματικές μονάδες, λαμβάνοντας υπόψη όμως και την αξία διατήρησης (WISE, 2008).
3. Η περιβαλλοντική ζημία ισούται με το κόστος που απαιτείται για να επανέλθει το περιβάλλον στην αρχική του κατάσταση (WFD, 2000; Καλιαμπάκος και Δαμίγος, 2008; Tietenberg and Lewis, 2011). Επομένως συνδέεται με το κόστος επαναφοράς της ποιότητας του χρησιμοποιούμενου νερού στην αρχική του κατάσταση (ΥΠΕΚΑ, 2009, 2013).

Όταν η ζήτηση του νερού για όλες τις χρήσεις καλύπτεται πλήρως, τότε το κόστος φυσικού πόρου είναι μηδενικό ενώ το κόστος αυτό μπορεί να είναι σημαντικό όταν υπάρχει έλλειψη νερού. Αντίστοιχα όταν η ποιότητά του είναι καλή, δεν υφίσταται περιβαλλοντικό κόστος. Αν τα κόστη αυτά συμπεριληφθούν στις τιμές νερού, τότε δημιουργείται κίνητρο για τον περιορισμό των χρήσεων με τη χαμηλότερη αξία (Schoengold et al., 2006). Η κοστολόγηση του αρδευτικού νερού σύμφωνα με το πλήρες κόστος του, αναμένεται να οδηγήσει σε πιο ορθολογική χρήση του (Perry, 2001), δεδομένης της ελαστικότητας που παρουσιάζει η ζήτηση του αρδευτικού νερού (Rodriguez et al., 2002; Chohin-Kuper et al., 2003).

Η αποτίμηση του πλήρους κόστους είναι μια πολύπλοκη διαδικασία κυρίως λόγω των διάφορων ορισμών που επικρατούν στο κόστος πόρου και στο περιβαλλοντικό κόστος. Η αποτίμησή τους με τη χρήση καμπυλών ζήτησης, απεικονίζοντας την ποσότητα νερού που καταναλώνεται σε διάφορες τιμές χρέωσής του, βρίσκει περισσότερο εφαρμογή στην περίπτωση του αστικού νερού, εκφράζοντας την επιθυμία πληρωμής (Young, 1996). Ωστόσο η εφαρμογή των καμπυλών ζήτησης στην Ελλάδα δεν είναι δυνατή, καθώς δε μπορεί να γίνει ορθή εκτίμηση της καταναλισκόμενης ποσότητας (Αλαμάνος Α., 2019). Για την τιμή του αρδευόμενου νερού, η χρέωση είναι στρεμματική ή ανά ώρα χρήσης των γεωτρήσεων, επομένως η όποια προσπάθεια εκτίμησης είναι εξαιρετικά δύσκολη και θα συνοδεύεται από μία σειρά αδυναμίες λόγω των παραδοχών που θα χρειαστούν. Αν η ακαθάριστη πρόσοδος των αρδευόμενων καλλιεργειών είναι μικρή, τότε και η αξία του νερού θα είναι επίσης χαμηλή. Αν όμως οι υδατικοί πόροι χρησιμοποιούνται σε καλλιέργειες με προϊόντα υψηλής αξίας, τότε και η αξία του νερού θα είναι υψηλή (Λατινόπουλος, 2006).

Πολλές άλλες μελέτες θεωρούν ως αξία νερού κυρίως την οικονομική συνεισφορά των αρδεύσεων στην αξία της γεωργικής παραγωγής (Small and Carruthers, 1991; Turner et al., 2004) και σπανιότερα εκτιμάται η περιβαλλοντική και ενδογενής αξία των υδατικών πόρων (Bakker and Matsuno, 2001; Renwick, 2001). Το αρδευτικό νερό αντιμετωπίζεται δηλαδή ως ένα ενδιαμέσο αγαθό, που συνεισφέρει έμμεσα στο γεωργικό εισόδημα, προσεγγίζοντάς το με τη μέθοδο της συνάρτησης παραγωγής. Πολλές φορές, οι αρδεύσεις έχουν επίσης ένα κοινωνικό όφελος πολύ μεγαλύτερο από την αύξηση του ευημερίας των γεωργών, καθώς συμβάλλουν στην οικονομική βιωσιμότητα και την κοινωνική συνοχή των αγροτικών περιοχών (Λατινόπουλος, 2006). Η μεγάλη ποικιλία μεθόδων που μελετώνται και χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση αυτών των αξιών επιβεβαιώνει και την πολυπλοκότητά τους. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορες ταξινομήσεις των μεθόδων αποτίμησης, αλλά και διαφορές στον τρόπο ονομασίας των μεθόδων (π.χ. μέθοδοι βασισμένες στο είδος της χρήσης νερού, τη θεώρησή του ως ιδιωτικό ή δημόσιο αγαθό, μέθοδοι αγοράς, άμεσης ή έμμεσης αποτίμησης, κλπ.) (Young and Haveman, 1985; USEPA, 2000; Pearce and

Ozdemiroglu, 2002). Βέβαια η εγκυρότητα όλων αυτών των προσεγγίσεων δεν είναι συγκρίσιμη, γιατί εξαρτάται από το πλαίσιο στο οποίο χρησιμοποιείται και τα οφέλη τα οποία μελετώνται(Αλαμάνος Α., 2019).

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1.Γεωγραφική θέση περιοχής μελέτης

Η περιοχή έρευνας συνολικής έκτασης 849,77km² καλύπτει το παράκτιο τμήμα της λεκάνης του Αλμυρού. Βόρεια συνορεύει με τις Μικροθήβες, που αποτελούν και το όριο με το δήμο Βόλου και το δήμο Ρήγα Φεραίου, ενώ στα ανατολικά βρέχεται από τον Παγασητικό κόλπο.



Σχήμα 2.1: Γεωγραφικά όρια περιοχής έρευνας, (Εικόνα από Google Earth).

Νοτιοανατολικά, σε μικρή απόσταση στον βόρειο Ευβοϊκό βρίσκεται ο δήμος Ιστιαίας-Αιδηψού του νομού Ευβοίας. Διοικητικά ανήκει στο Δήμο Αλμυρού με 12.987 κατοίκους από τους οποίους 2.513 είναι αγρότες, στο Δήμο Ν. Αγχιάλου με 7.411 κατοίκους από τους οποίους 1.002 είναι αγρότες, και στο Δήμο Σούρπης με 4.314 κάτοικοι με το σύνολο αυτών να ασχολείται με τη γεωργία. (Ε.Σ.Υ.Ε., 2001). Οι κύριες

ασχολίες των κατοίκων είναι η γεωργία, η κτηνοτροφία, το εμπόριο και η παροχή υπηρεσιών. Στην περιοχή καλλιεργούνται δημητριακά, βαμβάκι, ελαιόδεντρα, αμπέλια, κηπευτικά, ενώ παρουσιάζονται και μικρές κτηνοτροφικές μονάδες. Η μεγάλη πεδινή έκταση ευνοεί την ανάπτυξη των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, οι οποίες και απορροφούν το μεγαλύτερο ποσοστό των υδατικών πόρων για την άρδευση, ενώ επιπλέον η χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων επιβαρύνει ποιοτικά τα υπόγεια νερά (Γεωργιάδου,2015).

2.2.Στοιχεία περιβάλλοντος

Αδιαμφισβήτητο γεγονός είναι ότι μεγάλος αριθμός των τόπων απειλούνται με υποβάθμιση, εξ αιτίας έντονων ανθρωπογενών επεμβάσεων, όπως η αυθαίρετη ή ακαλαίσθητη δόμηση, η διάνοιξη δρόμων, ο ανεξέλεγκτος τουρισμός αλλά και πολλές άλλες καταστροφικές δραστηριότητες που υποβαθμίζουν τη φύση. Στην περιοχή μελέτης απαντώνται πληθώρα τόπων οι οποίοι βρίσκονται υπό την απειλή του ανθρωπογενούς παράγοντα και έχουν χαρακτηριστεί είτε ως βιότοποι είτε ως τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλλους και τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:



Σχήμα 2.2: Τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλλους περιοχής μελέτης (Φιλότης, 2011).

Το Τοπίο Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους (ΤΙΦΚ) είναι ένας τόπος που διακρίνεται για την αισθητική του αξία και παραμένει σε αξιόλογο βαθμό φυσικός, αν και συχνά είναι δομημένος, πολλές φορές περιλαμβάνει παραδοσιακούς οικισμούς, αρχαιολογικούς ή ιστορικούς χώρους. Για την επιλογή και αξιολόγηση αυτών των τοπίων χρησιμοποιούνται ως κριτήρια: φυσικά και οικολογικά χαρακτηριστικά όπως το ανάγλυφο, η γεωλογική δομή, το είδος των εδαφών, η χλωρίδα και η πανίδα, το υδατικό περιβάλλον, οι μετεωρολογικές συνθήκες, η πανοραμική θέα καθώς και ανθρωπογενή χαρακτηριστικά όπως η ύπαρξη μνημείων, η ιστορική αναφορά, ο παραδοσιακός χαρακτήρας, οι χρήσεις γης, η υποδομή των παλαιών και νέων ανθρώπινων δραστηριοτήτων (αγροί, δάση, οικισμοί και τοπικές επιχειρήσεις). Άλλα χαρακτηριστικά με τα οποία συνδέονται οι ΤΙΦΚ είναι οι δυνατότητες χρήσης για αναψυχή και εκπαίδευση, η ύπαρξη μονοπατιών, η διαχρονικότητα, η αίσθηση φυγής ή απομόνωσης, η δημιουργία συναισθημάτων, η επαφή με την φύση, η δυνατότητα κατανόησης φυσικών διεργασιών (Γεωργιάδου, 2015).

Στην περιοχή μελέτης έχουν καταγραφεί δυο τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλλους. Το αισθητικό δάσος Κουρί Αλμυρού, που αποτελεί ένα σημαντικό οικοσύστημα, στο οποίο συναντώνται σημαντικά είδη βλάστησης. Είναι ένα από τα ελάχιστα δείγματα πεδινού δάσους που απέμειναν στην Ελλάδα. Έχει ιδιαίτερη αξία για τους κατοίκους της περιοχής, λόγω της σπανιότητάς του ως πεδινό δάσος, της εύκολης προσπέλασης και της γειννιάσής του με την αστική περιοχή του Αλμυρού.

Ως ένα ακόμα τοπίο ιδιαίτερου φυσικού κάλλους έχει οριστεί και ο κόλπος νήσων Σούρπης. Πρόκειται για ένα μικρό όρμο στη νότια ακτή του Παγασητικού κόλπου. Κυρίαρχο στοιχείο ο ορεινός όγκος του Χλωμού (ή Χέλμη) από τη νότια πλευρά της περιοχής με το αετομάτικο του περίγραμμα το αδιατάρακτο φυσικό του ανάγλυφο και την ομοιόμορφη βλάστηση (Φιλότης, 2011). Η χαμηλότερη ζώνη αποτελείται από έναν συμπαγή και αιωνόβιο ελαιώνα. Οι ακτές είναι κυρίως βραχώδεις και κατά μήκος τους (κυρίως στη δυτική πλευρά) η παραλία έχει φραχθεί και ιδιωτικοποιηθεί από μία σειρά εξοχικών σπιτιών. Στη νότια ακτή, στη θέση Μετόχι, υπάρχει ένα συγκρότημα παλιών μοναστηριακών κτισμάτων. Η αξία της περιοχής συνίσταται από τα αδιατάρακτα φυσικά χαρακτηριστικά και την οπτική απομόνωσή της από την ευρύτερη χερσαία περιοχή από τα δυτικά. Είναι μία από τις λίγες παράκτιες περιοχές που διατηρεί σχεδόν αναλλοίωτα τα αξιόλογα φυσικά της χαρακτηριστικά (ανάγλυφο, βλάστηση).

Αξίζει να αναφερθούν ονομαστικά οι ελληνικοί βιότοποι του προγράμματος CORINE: Κουρί Αλμυρού, Όρμος Σούρπης/Στόμιο Μαγνησίας και τα βουνά Γκούρας Μαγνησίας, αλλά και του επιστημονικού προγράμματος NATURA: Κουρί Αλμυρού/Άγιος Σεραφείμ και το όρος Όθρυς, τα βουνά Γκούρας και το φαράγγι Παλαιοκερασίας.

2.3. Στοιχεία Γεωμορφολογίας, ανάγλυφου και υδρογραφικού δικτύου

Η λεκάνη του Αλμυρού αποτελεί τμήμα του ενιαίου βυθίσματος Αλμυρού-Παγασητικού. Τα 2/3 του βυθίσματος αυτού καλύπτονται ανατολικά από τον

Παγασητικό κόλπο, σε βάθη μέχρι τα 100m, ενώ το 1/3 προς τα δυτικά αποτελεί την ημιορεινή ζώνη (υψόμετρο 200-300m) και τη χαμηλού αναγλύφου χερσαία περιοχή, με υψόμετρα μέχρι 200m, που είναι και η περιοχή έρευνας(Μυριούνης, 2008). Η λεκάνη του Αλμυρού καλύπτει έκταση 849,77 km² περίπου, όπως προέκυψε από εμβαδομέτρηση με τη χρήση του λογισμικού ArcGis 10. Ορίζεται βόρεια και από τα ανατολικά προς τα δυτικά από την κορυφή Βελανιδιά (532 m), το Μαυροβούνι με μέγιστο υψόμετρο 724 m, από το Πυργάκι (504 m), τις Πόρτες (645 m), το Καστράκι (518 m), το Νεραϊδίτη (614 m), την Πετρωτή (518 m) και τη Μαυροκορυφή (793 m). Δυτικά ο υδροκρίτης διέρχεται, από κορυφές του όρους Όρθος και συγκεκριμένα από, από τον Γούρα με την κορυφή Αράπας (1290 m), το Μέγα Δένδρον (1130 m) και τη Λυκοράχη (865 m). Ανατολικά της Σούρπης ο υδροκρίτης διέρχεται, από τον Κοκκινόβραχο, με την κορυφή Περιστεροφωλιά (480 m), και ακολουθούν προς νότο το Χλωμό όρος με υψόμετρο 894 m και η Ψηλορράχη (440 m). Νότια απαντώνται, από ανατολικά προς τα δυτικά, ο Πύργος (386 m), η Γαλάνη (830 m), το Γερακοβούνι με υψόμετρο 1724 m, ο Μαυρίκας (1552 m) και ο Στράτωνας (1653 m) (Μυριούνης, 2008).

Σύμφωνα με τον Γαλανάκη(1997) το ανάγλυφο της λεκάνης του Αλμυρού οφείλεται κυρίως στην τεκτονική δράση ενεργών ρηγμάτων που δραστηριοποιούνται στην περιοχή από το Πλειόκαινο μέχρι σήμερα, με επαναδραστηριοποίηση πολλών εξ' αυτών κατά το Τεταρτογενές, και δευτερευόντως στις κλιματικές συνθήκες και στη διαφορική διάβρωση των πετρωμάτων(Μυριούνης, 2008). Κύριο χαρακτηριστικό της λεκάνης του Αλμυρού είναι η σχετική βύθιση του ανατολικού τμήματος της λεκάνης σε σχέση με το δυτικό, που συντέλεσε στη διατήρηση του χερσαίου τμήματός της.

Η υδρολογική λεκάνη του Αλμυρού περιλαμβάνει έξι (6) υπολεκάνες: Χολόρεμα, Καζάνι, Ξηρίας, Ξηρόρεμα(Σαλαμπριά), Πλατανόρεμα και Λαχανόρεμα. Αυτές με τη σειρά τους εντάσσονται σε 2 μεγαλύτερες υδρολογικές ενότητες. Η υπολεκάνη του Ξηρορέματος εντάσσεται στην υπολεκάνη της Σούρπης, ενώ οι υπόλοιπες πέντε στην υπολεκάνη της Ευξεινούπολης. Οι υπολεκάνες αυτές με ευδιάκριτα χαρακτηριστικά και πλήρως ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο και παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.3: Λεκάνη απορροής Αλμυρού με τις υπολεκάνες της(Sidiropoulos et al., 2016).

Η διαφορική αυτή τεκτονική κίνηση, επέτρεψε σύμφωνα με το (Γαλανάκης, 1997):

1. Στο ανάγλυφο της λεκάνης να είναι εντονότερο στο δυτικό τμήμα σε σχέση με το ανατολικό.
2. Να παρουσιάζεται έντονη διάβρωση κατά βάθος των ρεμάτων δυτικά, ιδιαίτερα στο βόρειο τμήμα του ορεινού όγκου της Όθρυος. Η έντονη αυτή κατά βάθος διάβρωση σταματά απότομα στην επαφή με τα μεταλπικά ιζήματα του νοτίου περιθωρίου της λεκάνης του Αλμυρού, περιοχή από την οποία παρατηρείται η διάβρωση νότια στο τέμαχος που ανέρχεται και η απόθεση υλικών βόρεια, στο τέμαχος που κατέρχεται.
3. Να παρατηρούνται ποτάμιες αναβαθμίσεις νοτιοδυτικά της λεκάνης, από το χωριό Νεοχωράκι ως την πόλη του Αλμυρού κατά μήκος του ρέματος του Ξεριά.
4. Να παρουσιάζεται εναπόθεση αλλουβιακών αποθέσεων από τα ρέματα ανατολικά της λεκάνης.
5. Αρχαιολογικές παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα παράλια του Παγασητικού κόλπου (Ν. Αγχίαλος), πιστοποιούν τη βύθιση των ακτών (Στείρος και Παπαγεωργίου, 1989). Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής είναι δενδριτική και παράλληλης μορφής, ενώ πολύ συχνά παρατηρείται ρηξιγενής μορφή (Γαλανάκης, 1997).

2.4.Κλιματικά και μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης

Το κλίμα της Ελλάδας έχει σε γενικές γραμμές στοιχεία του μεσογειακού κλίματος, δηλαδή ήπιους και βροχερούς χειμώνες, σχετικώς θερμά και ξηρά καλοκαίρια και μεγάλη ηλιοφάνεια όλο σχεδόν το χρόνο(ΕΜΥ). Σε διάφορα μέρη της Ελλάδας παρουσιάζονται μεγάλες κλιματικές διακυμάνσεις, οι οποίες συναντώνται ακόμα και σε περιοχές που έχουν μικρή μεταξύ τους απόσταση. Ο ορεινός όγκος της Όθρυς με το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής έρευνας διαμορφώνουν μια υψομετρική διαφορά από τα 20m στα πεδινά και παράκτια ως τα 1724m στην κορυφή Γκιούζι(Χουλιαράς, 2014). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι το κλίμα της περιοχής διαφοροποιείται σε μεσογειακό και ηπειρωτικό. Τα κλιματολογικά και μετεωρολογικά στοιχεία που συγκεντρώθηκαν αφορούν τη χρονική περίοδο 1960-2002. Πιο συγκεκριμένα συλλέχθηκαν δεδομένα θερμοκρασίας, βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής τα οποία εκτιμήθηκαν εν τέλει σε μηνιαία βάση.

2.4.1. Ανάλυση θερμοκρασιακών δεδομένων

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν μετέπειτα για την ανάλυση της θερμοκρασίας βασίζονται σε μετεωρολογικούς σταθμούς που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΝΟΜΟΣ	ΦΟΡΕΑΣ
A1	Αργιθέας	980	Καρδίτσας	ΔΕΗ
A2	Βακάρι	1150	Τρικάλων	ΔΕΗ
A3	Αγχίαλος	15	Μαγνησίας	ΕΜΥ
A4	Βόλος	3	Μαγνησίας	ΕΜΥ
A5	Γραμματικό	95	Καρδίτσας	ΥΠΓΕ
A6	Δομοκός	615	Φθιώτιδας	ΕΜΥ
A7	Καλαμπάκα	222	Τρικάλων	ΕΜΥ
A8	Καλλιφωνι	100	Καρδίτσας	ΥΠΓΕ
A9	Καπνικός	110	Καρδίτσας	ΥΠΓΕ
A10	Καρδίτσομαγούλα	95	Καρδίτσας	ΥΠΓΕ
A11	Κρατικό κτήμα	532	Τρικάλων	ΥΠΓΕ
A12	Λάρισα	73	Λάρισας	ΕΜΥ
A13	Λεόντειο	950	Καρδίτσας	ΔΕΗ
A14	Λιβάδι	1183	Λάρισας	ΥΠΕΧΩΔΕ
A15	Μαγούλα	180	Λάρισας	ΥΠΓΕ
A16	Μύρα	320	Λάρισας	ΥΠΓΕ
A17	Παλαμάς	95	Καρδίτσας	ΥΠΓΕ
A18	Παχτούρι	950	Τρικάλων	ΔΕΗ
A19	Πεδινό	95	Καρδίτσας	ΥΠΓΕ
A20	Πολύνερι	730	Τρικάλων	ΔΕΗ
A21	Σκοπιά	580	Λάρισας	ΥΠΓΕ
A22	Σωτήριο	51	Λάρισας	ΥΠΓΕ
A23	Ταυρωπός	850	Καρδίτσας	ΔΕΗ
A24	Τρίκαλα	149	Τρικάλων	ΕΜΥ
A25	Φάρσαλα (ΕΜΥ)	148	Λάρισας	ΕΜΥ
A26	Φάρσαλα (ΥΠΓΕ)	434	Λάρισας	ΥΠΓΕ

Πίνακας 2.1: Μετεωρολογικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση θερμοκρασίας(Γεωργιάδου, 2015).

Ως σταθμός βάσης για την επεξεργασία των μέσων τιμών της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε ο μετεωρολογικός σταθμός της Αγχιάλου, διότι βρίσκεται εντός της λεκάνης απορροής. Οι μηνιαίες θερμοκρασίες, για τον μετεωρολογικό σταθμό της Ν. Αγχιάλου, κυμαίνονται από 3,5 °C (μέση μηνιαία θερμοκρασία Ιανουαρίου 1981) έως 29,2 °C (μέση μηνιαία θερμοκρασία Ιουλίου 1988). Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες και ο μέσος όρος τους για την περίοδο 1960-2002 για τον μετεωρολογικό σταθμό της Ν. Αγχιάλου παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα (Γεωργιάδου, 2015).

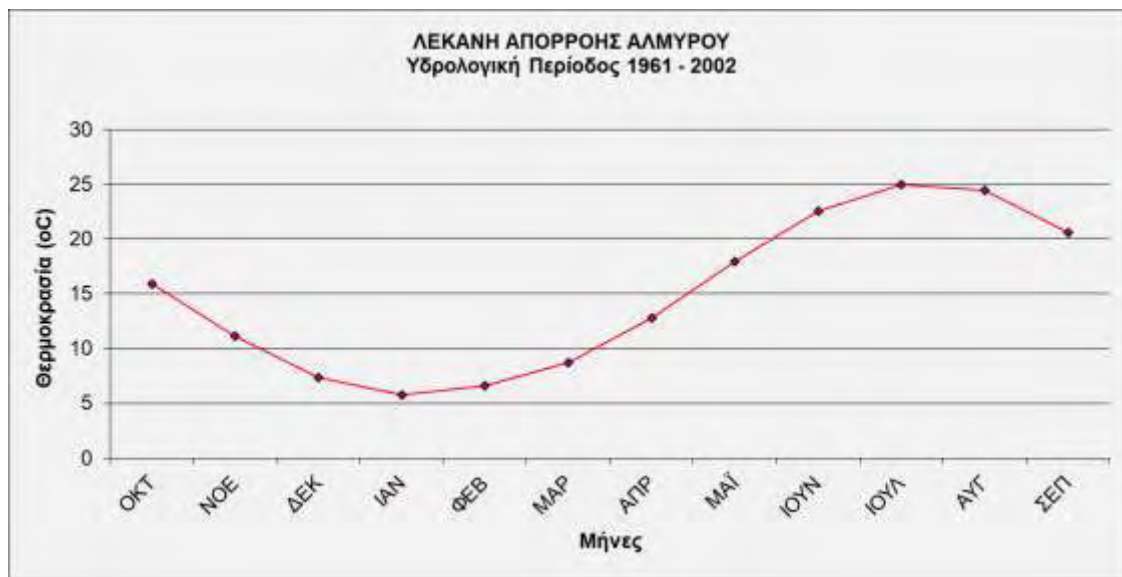


Σχήμα 2.4: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για το μετεωρολογικό σταθμό της Ν. Αγχιάλου (ΕΜΥ) για την περίοδο Οκτώβριος 1960 – Σεπτέμβριος 2002.



Σχήμα 2.5: Μέσος όρος θερμοκρασιών για το μετεωρολογικό σταθμό της Ν. Αγχιάλου (ΕΜΥ) για την περίοδο Οκτώβριος 1960 – Σεπτέμβριος 2002.

Για την αναγωγή των μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας του μετεωρολογικού σταθμού της Ν. Αγχιάλου (ΕΜΥ) στη λεκάνη απορροής του Αλμυρού χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της θερμοβαθμίδας, η οποία εφαρμόστηκε σε κάθε υπολεκάνη. Στη μεταπτυχιακή εργασία της Γεωργιάδου(2015) υπολογίζονται επιτυχώς, με την εφαρμογή της μεθόδου, οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες, για την περίοδο Οκτώβριος 1960-Σεπτέμβριος 2002, που αντιστοιχούν στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής του Αλμυρού και παρουσιάζεται η διακύμανσή τους στο επόμενο σχήμα. Η μέση ετήσια θερμοκρασία για την λεκάνη απορροής του Αλμυρού ανέρχεται σε 14,89 °C με διακύμανση από 5,74°C έως 24,95°C. Οι ακραίες μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες της λεκάνης απορροής του Αλμυρού κυμαίνονται από 2,77 °C (μέση μηνιαία θερμοκρασία Ιανουαρίου 1981) έως 27,35 °C (μέση μηνιαία θερμοκρασία Ιουλίου 1988)(Γεωργιάδου, 2015).



Σχήμα 2.6: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για την περίοδο Οκτώβριος 1960-Σεπτέμβριος 2002(Γεωργιάδου, 2015).

2.4.2. Ανάλυση βροχομετρικών δεδομένων

Για τον προσδιορισμό της βροχόπτωσης στη λεκάνη απορροής του Αλμυρού χρησιμοποιήθηκαν επεξεργασμένα πρωτογενή δεδομένα βροχόπτωσης γειτονικών μετεωρολογικών σταθμών. Οι βροχομετρικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΝΟΜΟΣ	ΦΟΡΕΑΣ
A34	Νέα Αγχιάλος	15	Μαγνησίας	ΕΜΥ
A35	Ανάβρα	700	Μαγνησίας	ΥΠΠΕ
A36	Βόλος	3	Μαγνησίας	ΕΜΥ
A37	Δομοκός	615	Φθιώτιδας	ΕΜΥ
A38	Σκοπιά	580	Λάρισας	ΥΠΠΕ

Πίνακας 2.2: Βροχομετρικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση(Γεωργιάδου, 2015).

Επιλέχθηκε και για τον προσδιορισμό της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης ο μετεωρολογικός σταθμός της Αγχιάλου. Για τον προσδιορισμό της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης, επιλέχθηκε η μέθοδος της βροχοβαθμίδας. Η υψομετρική μέθοδος ή μέθοδος της βροχοβαθμίδας βασίζεται στην παρατήρηση ότι το ύψος βροχής αυξάνει με την αύξηση του υψομέτρου και χρησιμοποιεί τη βροχοβαθμίδα που είναι όρος που περιγράφει την αύξηση του ετήσιου βροχομετρικού ύψους ανά 100m αύξηση του υψομέτρου. Στη μεταπτυχιακή εργασία της Γεωργιάδου παρουσιάζεται αναλυτικά η εφαρμογή της μεθόδου και εκτιμήθηκε η μέση μηνιαία υετόπτωση η οποία παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα. Η μέση ετήσια βροχόπτωση για την λεκάνη απορροής του Αλμυρού ανέρχεται σε 547,55 mm, με διακύμανση από 377,94 mm μέχρι 820,61 mm. Οι μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις κυμαίνονται από 18,90 mm (μέση μηνιαία βροχόπτωση Αυγούστου) μέχρι 69,82 mm (μέση μηνιαία βροχόπτωση Δεκεμβρίου) και ο συντελεστής μεταβλητότητας (Coefficient of Variation, CV) για τον ξηρότερο μήνα (Αύγουστο) είναι 100,96 %, ενώ για τον υγρότερο μήνα (Δεκέμβριο) είναι 66,63 %(Γεωργιάδου, 2015).



Σχήμα 2.7: Μέση μηνιαία υετόπτωση για τη χρονική περίοδο Οκτώβριος 1960-Σεπτέμβριος 2002(Γεωργιάδου, 2015).

2.4.3. Υπολογισμός Μέσης Επιφανειακής Δυνητικής Εξατμισοδιαπνοής

Ως εξατμισοδιαπνοή, ET, ορίζεται η συνολική διεργασία μεταφοράς ύδατος στην ατμόσφαιρα από φυτοκαλυμμένες επιφάνειες. Επίσης ευρύτατα χρησιμοποιούμενη είναι η έννοια της της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, E_p , με την οποία περιγράφεται ο μέγιστος ρυθμός εξατμισοδιαπνοής από μια φυτοκαλυμμένη επιφάνεια, που έχει επάρκεια νερού, κάτω από ορισμένες μετεωρολογικές συνθήκες. Σε άλλη περίπτωση αναφερόμαστε στην εξάτμιση από κάθε μεγάλη ομοιόμορφη επιφάνεια που είναι επαρκώς υγρή, έτσι ώστε ο αέρας που έρχεται σε επαφή μαζί της να είναι εντελώς κορεσμένος. Ο όρος αυτός εισήχθη για πρώτη φορά από τον Thornthwaite (1948) και εκφράζει τις απώλειες νερού, πάνω από το έδαφος με βλάστηση, όταν υπάρχει επάρκεια νερού. Για τον υπολογισμό της μηνιαίας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής επιλέχθηκε η μέθοδος Thornthwaite (1948), η οποία προτιμήθηκε διότι βασίζεται αποκλειστικά στη θερμοκρασία του αέρα λόγω έλλειψης άλλων μετεωρολογικών δεδομένων που επικρατούν στην περιοχή μελέτης. Η μέθοδος Thornthwaite περιέγραψε τη βιολογική και φυσική σημασία της εξατμισοδιαπνοής στην κλιματική ταξινόμηση και ανέπτυξε μια εξίσωση για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Εφαρμόστηκε και αυτή η μέθοδος επιτυχώς στην εργασία της Γεωργιάδου(2015) για τη λεκάνη απορροής του Αλμυρού αλλά και τις υπολεκάνες της. Το σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζει τα αποτελέσματα της μεθόδου για την περίοδο Οκτώβριος 1960-Σεπτέμβριος 2002.



Σχήμα 2.8: Διάγραμμα μέσης μηνιαίας επιφανειακής εξατμισοδιαπνοής για τη χρονική περίοδο Οκτώβριος 1960-Σεπτέμβριος 2002.

2.5. Διαχείριση Υδατικών Πόρων στη λεκάνη απορροής του Αλμυρού

Η μετατροπή της κατάστασης των υδατικών συστημάτων προκειμένου να ικανοποιούνται οι ανάγκες σε νερό, κατά τρόπο μάλιστα που σύμφωνα με τον ορισμό της Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων θα πρέπει να εξασφαλίζει την επίτευξη του μέγιστου δυνατού οφέλους, συγκροτεί μία πολύπλευρη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Δεδομένου ότι δεν υπάρχει σημαντικός οργανισμός επιφανειακών υδάτων ούτε οργανωμένο αρδευτικό δίκτυο, η λεκάνη του Αλμυρού έχει μεγάλη ανάγκη από αρδευτικό νερό. Η άρδευση γίνεται στο σύνολό της με γεωτρήσεις, οι οποίες βρίσκονται σε συνθήκες υπερεκμετάλλευσης και σε συνδυασμό με τη μείωση των βροχοπτώσεων τα τελευταία χρόνια, έχει ως αποτέλεσμα την πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και σε αδυναμία της κάλυψης των αναγκών (Χουλιαρά, 2014).

Το μεγαλύτερο πρόβλημα της λεκάνης του Αλμυρού αποτελεί η πτώση στάθμης καθώς όλοι εξυπηρετούνται από υπόγειο νερό για την κάλυψη των αναγκών τους, ενώ ταυτόχρονα το πρόβλημα ενισχύεται καθώς εισέρχεται θαλασσίνο νερό με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται έντονο το φαινόμενο της υφαλμύρινσης. Αυτό τεκμηριώνεται και από τα μοντέλα υπόγειας ροής και από τις υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων (Μυριούνης, 2008; Γεωργιάδου, 2015). Το γεγονός αυτό έχει ως φυσικό επακόλουθο το νερό να μην είναι κατάλληλο ούτε για πόση αλλά ούτε για άρδευση καλλιεργειών.

Χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς ένας συνδυασμός μοντέλου μηνιαίας προσομοίωσης υδρογραφικής επιφάνειας και μοντέλου προσομοίωσης υπογείων υδάτων για την εκτίμηση της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης του υδροφόρου ορίζοντα της λεκάνης του Αλμυρού. Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν ότι οι απαιτήσεις νερού για άρδευση είναι υπεύθυνες για την υπερεκμετάλλευση των μη ανανεώσιμων πόρων υπογείων υδάτων (Sidiropoulos et al., 2016).

Παρόλα όσα αναφέραμε όμως, εξακολουθεί να γίνεται χρήση του ανεπαρκούς αρδευτικού νερού σε καλλιέργειες με μεγάλες απαιτήσεις σε αυτό. Συνεπώς, είναι αναγκαία η αναθεώρηση της αγροτικής πολιτικής και της αναδιάρθρωσης των καλλιεργειών για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Η τιμολόγηση είναι ένα εύκολο διαχειριστικά ελεγχόμενο εργαλείο με πολλούς υποστηρικτές, που ισχυρίζονται ότι μπορεί να μετριάσει αυτή την κατάσταση. Επιπλέον είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι εξαιτίας της απουσίας επιφανειακών υδάτων και Τοπικού Οργανισμού Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ), οι χρεώσεις των γεωτρήσεων γίνονται αυθαίρετα από τους αγροτικούς συνεταιρισμούς της περιοχή, οι οποίοι λειτουργούν προς όφελός τους. Πιο συγκεκριμένα δεν παρέχουν κανένα κίνητρο εξοικονόμησης της ποσότητας και υποβαθμίζουν την αξία του νερού.

3. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

3.1. Υδρολογικό μοντέλο UTHBAL

Οι απολήψεις από τον υπόγειο υδροφόρα υπολογίσθηκαν με τη χρήση του υδρολογικού μοντέλου UTHBAL(Loukas et al., 2007). Πρόκειται για ένα μηνιαίο ημικαταμεμημένο υδρολογικό μοντέλο, όπου έχει εφαρμοστεί ξανά στη λεκάνη απορροής της Κάρλας για τη μηνιαία προσομοίωση του υδρολογικού ισοζυγίου και την εκτίμηση της κατείσδυσης στον υπόγειο υδροφόρα (Sidiropoulos et al., 2013; Υδρομέτωρ, 2015; Alamanos et al., 2019). Το μηνιαίο εννοιολογικό μοντέλο (UTHBAL) έχει χρησιμοποιηθεί, για τον υπολογισμό της επιφανειακής απορροής και της κατείσδυσης στον υπόγειο υδροφόρα (Loukas et al. 2003), επιτυχώς και σε άλλες λεκάνες απορροής στην Κύπρο (Loukas et al. 2003), στην Κρήτη (Christodoulaki et al. 2003; Christodoulaki et al. 2004), στη Θεσσαλία (Loukas et al. 2005a; Loukas et al. 2006) και στην διασυνοριακή λεκάνη του Ποταμού Νέστου/Mesta (Kampragou 2006).

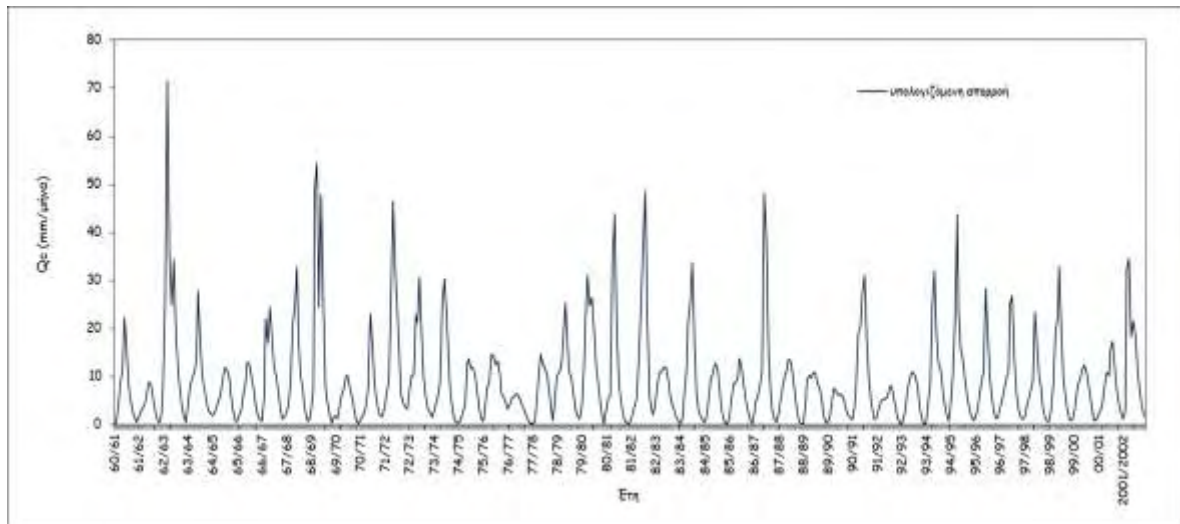
Το υδρολογικό αυτό μοντέλο υπολογίζει μεταξύ άλλων την κατείσδυση και την επαναφόρτιση στα υπόγεια ύδατα, προσομοιώνοντας την επιφανειακή υδρολογία της λεκάνης απορροής. Για τον υπολογισμό αυτό εισάγονται ως δεδομένα εισόδου οι χρονοσειρές μέσης μηνιαίας επιφανειακής βροχόπτωσης, μέσης μηνιαίας επιφανειακής θερμοκρασίας και μέσης μηνιαίας επιφανειακής εξατμισοδιαπνοής, που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο της βροχοβαθμίδας, της θερμοβαθμίδας και Thornthwaite αντίστοιχα.

Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί τα κατακριμνήσματα διαχωρίζοντάς τα σε βροχή και χιόνι ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα για μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 12,22 °C θεωρείται ότι όλο το ποσοστό της υετόπτωσης είναι βροχή, ενώ για μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες μικρότερες από -10 °C, όλο το ποσοστό της συνολικής υετόπτωσης είναι χιόνι. Στις ενδιάμεσες τιμές των θερμοκρασιών αυτών το χιόνι υπολογίζεται ως ποσοστό της συνολικής υετόπτωσης που παρατηρήθηκε(Γεωργιάδου, 2015). Το ποσοστό των συνολικών μηνιαίων κατακρημνισμάτων που θεωρείται χιονόπτωση, εκτιμάται από μια σχέση που είναι βασισμένη στη μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα, ενώ στην πορεία υπολογίζεται η δυνητική μηνιαία τήξη χιονιού εκφρασμένη σε mm/μήνα.

Η τήξη χιονιού επηρεάζεται από μια σειρά παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ηλιακή ακτινοβολία, η ατμοσφαιρική πίεση, η ταχύτητα του ανέμου και η φυτοκάλυψη, οι οποίες όμως δεν δίνονται να υπολογιστούν καθώς είναι δύσκολη η συλλογή δεδομένων. Εναλλακτικά στην εργασία της Γεωργιάδου(2015) υπολογίζεται η μηνιαία δυνητική τήξη χιονιού, από μια σχέση που βασίζεται στα διαθέσιμα μηνιαία θερμοκρασιακά δεδομένα. Αξίζει να σημειωθεί ότι μια επιπλέον παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπ' όψη στο υδρολογικό μοντέλο είναι ότι για κάθε λεκάνη η τιμή της παραμέτρου πρέπει να ρυθμιστεί κατά τη διαδικασία ρύθμισης των παραμέτρων(calibration).

Η πραγματική ωστόσο μηνιαία τήξη διαφέρει από αυτή που υπολογίστηκε πολλές φορές(η δυνητική τήξη να είναι πολύ μεγαλύτερη από την πραγματική) καθώς εξαρτάται από τη μηνιαία «αποθήκευση» χιονιού στο έδαφος. Σε επόμενο βήμα προστίθεται το «περίσσευμα» χιονιού, δηλαδή το άθροισμα της χιονόπτωσης του μήνα

και της αποθηκευμένης ποσότητας από τους προηγούμενους μήνες(χιόνι που δεν έχει λιώσει). Η πραγματική μηνιαία τήξη προκύπτει συγκρίνοντας κάθε φορά τη διαθέσιμη ποσότητα με τη δυναμική τήξη χιονιού. Το μοντέλο διακρίνει την συνολική απορροή σε τρεις συνιστώσες απορροής, την επιφανειακή απορροή, την ενδιάμεση ή επιδερμική απορροή, και την βασική απορροή ή απορροή που προέρχεται από την εκροή του υδροφορέα. Προτεραιότητα για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου πριν τη δημιουργία απορροής αποτελεί η ικανοποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Στην εργασία της Γεωργιάδου(2015) ακολουθείται η κατάλληλη υπολογιστική πορεία και εκτιμάται η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, η επιφανειακή, η ενδιάμεση και βασική απορροή ή αλλιώς απορροή από τον υπόγειο υδροφορέα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν και που χρησιμοποιούμε και στην παρούσα διπλωματική, αφορούν τη λεκάνη απορροής του Αλμυρού κατά τη χρονική περίοδο Οκτωβρίου 1960-Σεπτεμβρίου 2002, και είναι η συνολική απορροή, η οποία αποτελεί το άθροισμα των επιμέρους συνιστωσών που προαναφέραμε, και η επαναφόρτιση του υπόγειου υδροφορέα. Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές της υπολογιζόμενης απορροής για τη λεκάνη του Αλμυρού τη χρονική περίοδο 1960-2002.



Σχήμα 3.1: Υπολογισμένες τιμές Q_c της λεκάνης απορροής Αλμυρού για τη υδρολογική περίοδο Οκτώβριος 1960-Σεπτέμβριος 2002.



Σχήμα 3.2: Μέσες μηνιαίες υπολογισμένες τιμές Qc για υδρολογική περίοδο Οκτώβριος 1960 – Σεπτέμβριος 2002.

3.2.Γεωργικές Υδατικές ανάγκες

Η διαδικασία υπολογισμού των υδατικών αναγκών παρουσιάζεται ανά χρήση στο επίπεδο της λεκάνης απορροής. Διακρίνονται σε πέντε υποκατηγορίες: γεωργική, αστική, βιομηχανική, κτηνοτροφική και τουριστική. Στην περιοχή μελέτης μας το μεγαλύτερο ποσοστό καλύπτει η γεωργική χρήση ενώ ακολουθεί σε πολύ μικρότερο βαθμό η αστική. Οι λοιπές χρήσεις απαντώνται σε τέτοιο ποσοστό, σε σημείο να θεωρούνται αμελητέες.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής υπηρεσίας οι κύριες χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης είναι η γεωργική με ποσοστό 54,13% και ακολούθως τα δάση ή ημιφυσικές εκτάσεις με ποσοστό 43,44%.Ως γεωργικές εκτάσεις θεωρήθηκαν η αρόσιμη γη, οι μόνιμες καλλιέργειες, οι βοσκότοποι και οι μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις, οι βοσκότοποι και οι συνδυασμοί θαμνώδους ή και ποώδους βλάστησης, οι βοσκότοποι και οι εκτάσεις με αραιή ή καθόλου βλάστηση καθώς και οι ετερογενείς γεωργικές περιοχές. Ως δάση ή ημιφυσικές εκτάσεις θεωρούνται τα δάση, οι μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις, οι συνδυασμοί θαμνώδους και ποώδους βλάστησης και οι εκτάσεις με αραιή ή καθόλου βλάστηση(Γεωργιάδου, 2015).

Στη λεκάνη απορροής του Αλμυρού που μελετάμε, παρατηρούμε ότι σε όλα τα δημοτικά διαμερίσματα η αγροτική χρήση παραμένει κυρίαρχη σε σχέση με τις υπόλοιπες, σύμφωνα με τα στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής υπηρεσίας(Στοιχεία της Απογραφής Γεωργίας - Κτηνοτροφίας 1999/2000), ενώ ιδιαίτερα αυξημένη παρατηρήθηκε στα δημοτικά διαμερίσματα Νέας Αγχιάλου, Ευξεινούπολης, Κρόκιου, Περίβλεπτου, Μικροθήβων και Αλμυρού. Οι αγροτικές υδατικές ανάγκες εξαρτώνται από το είδος των καλλιεργειών, τον τρόπο άρδευσης και τον τρόπο μεταφοράς του νερού στις αρδευόμενες εκτάσεις.

Για τον υπολογισμό των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό αντικειμενικός σκοπός είναι να υπολογισθεί το απαραίτητο νερό για τον ανεφοδιασμό των καλλιεργειών, ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή ανάπτυξη και βελτιστοποίηση της απόδοσης τους σε συνδυασμό με την υψηλή ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Για την ζήτηση αυτή πρέπει να υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή της καλλιεργείας, δηλαδή η εξάτμιση από το έδαφος, το φυτό και το φύλλωμα. Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται από την περίοδο ανάπτυξης, την πυκνότητα του φυλλώματος, την πυκνότητα του ριζικού συστήματος και της αποστάσεις μεταξύ των φυτών μέσα στην καλλιεργεία (Παπαζαφειρίου, 1999).

Ο όρος εξάτμιση χρησιμοποιείται στην υδρολογία για να περιγράψει τη δημιουργία υδρατμών, δηλαδή τη μετατροπή του νερού από υγρή σε αέρια κατάσταση. Η μετατροπή του νερού σε υδρατμούς που πραγματοποιείται στους πόρους της χλωρίδας ονομάζεται διαπνοή. Το σύνολο των πραγματικών απωλειών νερού από την εξάτμιση εδαφών και από τη διαπνοή της χλωρίδας αποδίδεται με τον όρο εξατμισοδιαπνοή (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

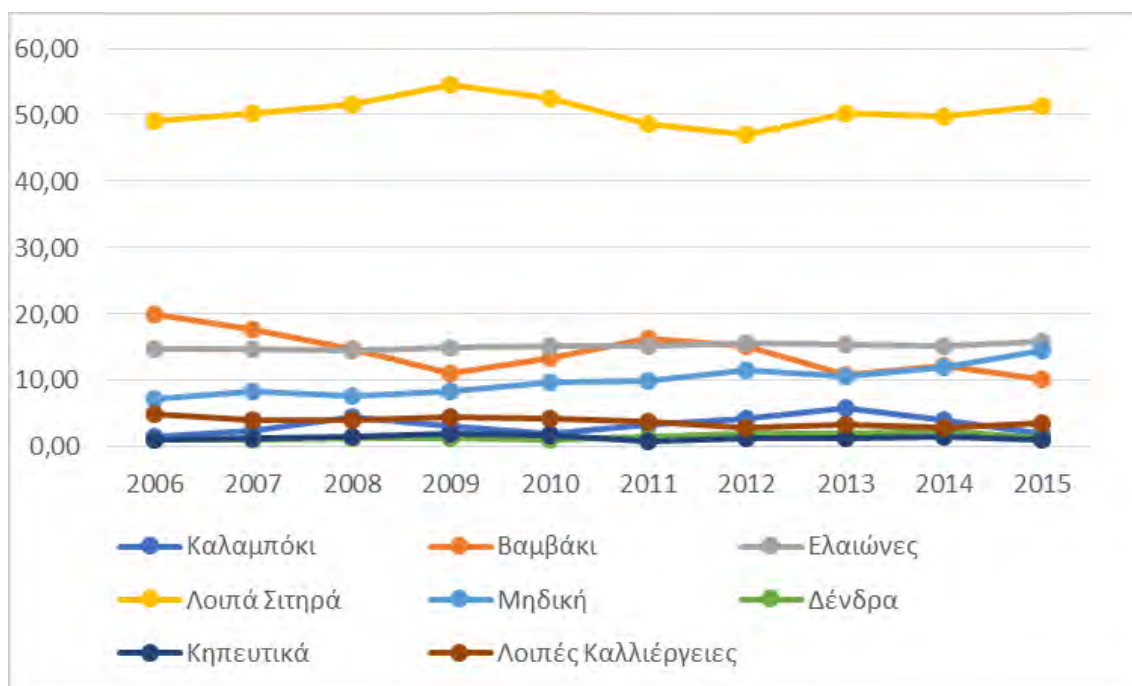
Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής έχουν ως απαραίτητη προϋπόθεση να υπάρχει πάντα επαρκές διαθέσιμο νερό στο έδαφος το οποίο καταναλίσκεται με την εξατμισοδιαπνοή. Η δυναμική (δυναμική) εξατμισοδιαπνοή της καλλιεργείας αναφοράς (potential evapotranspiration of reference crop, PET) είναι η εξατμισοδιαπνοή από μια επιφάνεια πλήρως καλυμμένη από γρασίδι ομοιόμορφου ύψους 8-15 cm, ελεύθερου από οποιαδήποτε ασθένεια με επαρκές διαθέσιμο εδαφικό νερό για την ανάπτυξη του. Ο υπολογισμός των αναγκών των καλλιεργειών έγινε με τον δείκτη Near Irrigation Requirement (NIR), (USDA, 1970).

3.2.1. Κατανομή καλλιεργειών στη λεκάνη απορροής του Αλμυρού

Στην λεκάνη απορροής του Αλμυρού συλλέχθηκαν τα απαραίτητα στοιχεία από τις καλλιεργείες από τον Οργανισμό Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων (ΟΠΕΚΕΠΕ). Τα στοιχεία αυτά που συγκεντρώθηκαν αφορούν τις καλλιεργείες για τη χρονοσειρά από το 2006-2015, σύμφωνα με γεωργικές απογραφές και στοιχεία διάρθρωσης των γεωργικών εκμεταλλεύσεων με επίπεδο αναφοράς τα δημοτικά διαμερίσματα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η κατανομή των καλλιεργειών για την προαναφερθείσα χρονική περίοδο ενώ στο σχήμα η ποσοστιαία κατανομή καλλιεργειών μετά από επεξεργασία για κάθε έτος.

ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ(στρέμ.)	ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ(%)
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	9663,284	3,323
ΒΑΜΒΑΚΙ	41316,864	14,208
ΕΛΑΙΩΝΕΣ	44070,74	15,155
ΛΟΠΠΑ ΣΙΤΗΡΑ	146734,772	50,459
ΜΗΔΙΚΗ	29106,172	10,009
ΔΕΝΔΡΑ	4440,516	1,527
ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	4161,348	1,431
ΛΟΠΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	11309,212	3,889
ΣΥΝΟΛΟ	290800	100

Πίνακας 3.1: Κατανομή καλλιεργειών σε στρέμματα τη χρονική περίοδο 2006-2015.



Σχήμα 3.3: Ποσοστιαία κατανομή καλλιεργειών τη χρονική περίοδο 2006-2015.

Για τον υπολογισμό των αρδευτικών αναγκών επιλέχτηκε η κατανομή των καλλιεργειών τη χρονιά 2009. Υπάρχουν 101.625 στρέμματα καλλιεργημένων

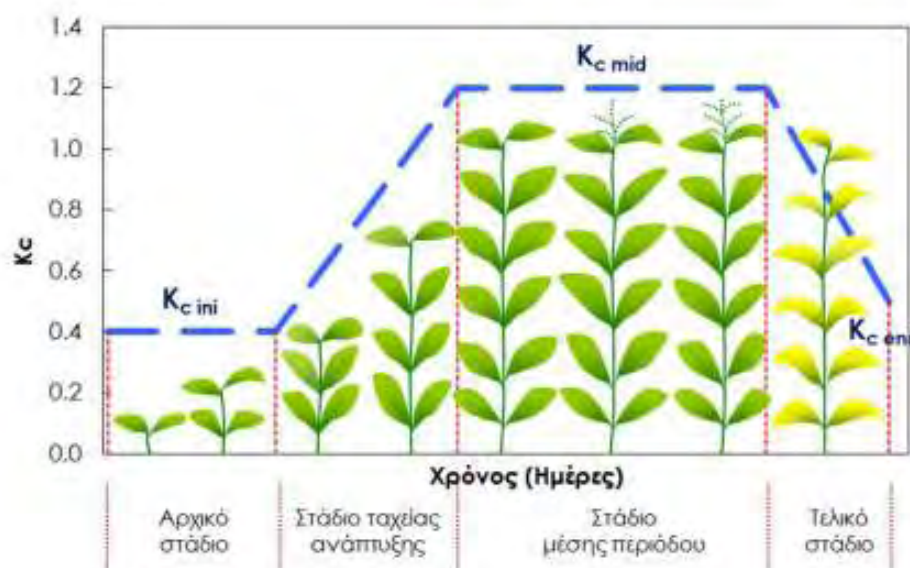
εκτάσεων σύμφωνα με το Α΄ Μέρος των δελτίων της Ετήσιας Γεωργικής Στατιστικής Έρευνας για το έτος 2009, όλων των δημοτικών διαμερισμάτων, όπως αυτά συντάχθηκαν από τους στατιστικούς ανταποκριτές των Δήμων και κατατέθηκαν στην Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος. Οι μόνιμες καλλιέργειες είναι οι αμπελώνες και τα δέντρα, ενώ οι ετήσιες καλλιέργειες είναι τα βαμβάκια, το καλαμπόκι, τα σιτηρά, η μηδική, τα κηπευτικά και τα τεύτλα. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα στρέμματα των καλλιεργειών για το έτος 2009, που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση υδατικών αρδευτικών αναγκών.

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ
καλαμπόκι	1855,68
βαμβάκι	33285
αμπέλια	10750
σιτηρά	39897,12
μηδική	10152
δέντρα	2029,65
κηπευτικά	1182,4161
τεύτλα	2473
ΣΥΝΟΛΟ	101624,8661

Πίνακας 3.2: Κατανομή καλλιεργειών στη λεκάνη απορροής Αλμυρού το έτος 2009.

3.2.2. Υπολογισμός αρδευτικών αναγκών

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως ο υπολογισμός των αρδευτικών αναγκών έγινε με τον δείκτη Near Irrigation Requirement (NIR). Εισάγουμε αρχικά τον όρο βλαστική περίοδο, ο οποίος περιγράφει την περίοδο από την σπορά έως την συγκομιδή της καλλιέργειας και για μόνιμες καλλιέργειες, όπως δέντρα την περίοδο από την ανάπτυξη του φυλλώματος έως την συγκομιδή, κατά την οποία οι καλλιέργειες απαιτούν νερό για την σωστή ανάπτυξή τους. Για να περιγράψουμε τη σχέση μεταξύ των αναγκών της καλλιέργειας αναφοράς και των άλλων καλλιεργειών χρησιμοποιούμε τον εμπειρικό εποχιακό συντελεστή K_c . Ο όρος καλλιέργεια αναφοράς αφορά μια μηδική καλλιέργεια με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, την οποία χρησιμοποιούμε ως βάση για τον υπολογισμό των αναγκών όλων των υπόλοιπων καλλιεργειών. Το K_c στην καλλιέργεια αναφοράς ισούται με 1, ενώ για κάθε καλλιέργεια η τιμή του διαφέρει και είναι ανάλογη με την βλαστική περίοδο στην οποία αυτή βρίσκεται. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η βλαστική περίοδος, η οποία όπως φαίνεται χωρίζεται σε τέσσερα στάδια ανάπτυξης των φυτών, η αναλυτική περιγραφή των οποίων γίνεται μετέπειτα.



Σχήμα 3.4: Εξέλιξη του συντελεστή βλάστησης K_c της καλλιέργειας.

- K_{c1} : Αρχικό στάδιο. Το στάδιο αυτό αναφέρεται στην περίοδο από την σπορά ή τη φύτευση της καλλιέργειας μέχρι την οριστική εγκατάστασή της. Στο διάστημα αυτό ο φυτικός συντελεστής K_c παραμένει σταθερός.
- K_{c1} - K_{c2} : Στάδιο ταχείας ανάπτυξης. Το στάδιο αυτό ξεκινάει από το τέλος του προηγούμενου και χαρακτηρίζεται από την έντονη ανάπτυξη των φυτών. Τελειώνει με την πλήρη κάλυψη του εδάφους από την καλλιέργεια, δηλαδή όταν το ποσοστό φυτοκάλυψης είναι μεγαλύτερο από 70%. Το K_c αυξάνεται διαρκώς.
- K_{c2} : Στάδιο μέσης περιόδου. Το στάδιο αυτό ξεκινάει με την πλήρη κάλυψη του εδάφους, όπως ορίστηκε στο προηγούμενο στάδιο, και αναφέρεται στην περίοδο της ανθοφορίας και του σχηματισμού των καρπών με την τιμή του K_c να παραμένει σταθερή.
- K_{c2} - K_{c3} : Τελικό στάδιο. Σε αυτό το στάδιο συντελείται η ωρίμανση των καρπών και τερματίζεται με την συγκομιδή. Στο σημείο αυτό οι καλλιέργειες έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις σε νερό και κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου παρατηρείται μια συνεχής πτώση του K_c .
- K_{c3} : Στιγμή συγκομιδής. Η μέση τιμή του K_c κατά τη στιγμή της συγκομιδής ή στο τέλος της εποχής χρήσης ύδατος.

3.2.3. Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών

Για τον υπολογισμό των υδατικών αναγκών προτιμήθηκε η μέθοδος Blaney – Criddle λόγω της ακρίβειας των αποτελεσμάτων που μας δίνει παρά την έλλειψη των δεδομένων στη λεκάνη απορροής (θερμοκρασία, βροχόπτωση). Οι άλλες μέθοδοι που θα μπορούσαν να δώσουν μεγαλύτερη ακρίβεια αποτελεσμάτων, δεν μπορούν να

εφαρμοστούν λόγω έλλειψης δεδομένων όπως ένταση και διεύθυνση ανέμων, ενώ σύμφωνα με διάφορες μελέτες η μέθοδος που επιλέχθηκε δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα εξατμισοδιαπνοής (Κουτσογιάννης, 2002, Loukas et al, 2004). Η μέθοδος χρησιμοποιεί ως βάση τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς και τον φυτικό συντελεστή. Συγκεκριμένα για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας με την μέθοδο Blaney – Criddle, απαιτείται η μέση μηνιαία θερμοκρασία και το γεωγραφικό πλάτος της κάθε λεκάνης.

Στα αρχικά στάδια της μεθόδου εκτός από η μέση μηνιαία θερμοκρασία, κρίνεται απαραίτητη η γνώση συγκεκριμένων παραμέτρων και μετεωρολογικών δεδομένων, όπως η ελάχιστη σχετική υγρασία RHmin, η μηνιαία βροχόπτωση Ptot, το μέσο ημερήσιο ποσοστό διάρκειας ημέρας p, το μέσο ποσοστό διάρκειας ημέρας n/N(όπου n οι πραγματικές ώρες διάρκειας μηνιαίας ηλιοφάνειας και N οι ώρες του μήνα) και η μέση ταχύτητα του ανέμου u σε 24 ώρες και σε ύψος 2m. Ως μετεωρολογικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν εκείνα που υπολογίστηκαν από την εργασία της Γεωργιάδου(2015), όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Σε πρώτο βήμα χρησιμοποιούμε τον τύπο της μεθόδου που εκτιμά την αναγκαία κατανάλωση της καλλιέργειας αναφοράς, δηλαδή την τιμή f:

$$f = (0,46 \times T + 8,13) \times p$$

όπου: T η μέση μηνιαία θερμοκρασία σε °C, p: το μέσο μηνιαίο ποσοστό ωρών ημέρας (βάσει του γεωγραφικού πλάτους).

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του p σε ημερήσιο και μηνιαίο ποσοστό για τις υπολεκάνες της λεκάνης απορροής του Αλμυρού καθώς και τα γεωγραφικά πλάτη των λεκανών.

ΜΗΝΙΑΙΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΩΡΩΝ ΗΜΕΡΑΣ (p) ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟ ΠΛΑΤΟΣ											
ΟΚ	ΝΟ	ΔΕ	ΙΑΝ	ΦΕ	ΜΑ	ΑΠ	ΜΑΙ	ΙΟΥ	ΙΟΥ	ΑΥ	ΣΕ
7,80	6,82	6,66	6,87	6,79	8,34	8,90	9,92	9,95	10,10	9,47	8,38
7,75	6,72	6,52	6,76	6,72	8,33	8,95	10,02	10,08	10,22	9,54	8,39
7,77	6,76	6,58	6,81	6,75	8,33	8,93	9,98	10,03	10,17	9,51	8,39
ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΩΡΩΝ ΗΜΕΡΑΣ (p) ΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟ ΠΛΑΤΟΣ											
0,25	0,23	0,21	0,22	0,22	0,27	0,30	0,32	0,33	0,33	0,31	0,28

Πίνακας 3.3: Συντελεστής p βάσει του γεωγραφικού πλάτους των υπολεκανών της λεκάνης απορροής του Αλμυρού.

Στη συνέχεια λαμβάνεται υπ' όψη ο υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής ET_c σε mm/day σύμφωνα με τον τύπο:

$$ET_c = a + b \times f$$

όπου a σταθερά που υπολογίζεται από τον τύπο:

$$a = 0.0043 \times RH_{min} - \left(\frac{n}{N}\right) - 1.41$$

και b σταθερά που υπολογίζεται από τον τύπο:

$$b = 0.82 - (0.0041 \times RH_{min}) + 1.07 \times \left(\frac{n}{N}\right) + 0.066 \times u - 0.006 \times RH_{min} \times \left(\frac{n}{N}\right) - 0.0006 \times RH_{min} \times u$$

Για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, δηλαδή των μηνιαίων αναγκών της κάθε καλλιέργειας ξεχωριστά πρέπει να πολλαπλασιαστεί η τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής της κάθε καλλιέργειας με το φυτικό συντελεστή K_c .

$$ET_0 = ET_c \times K_c$$

Τα στοιχεία για τις τιμές K_c προέρχονται από την οδηγία FAO για μεσογειακές συνθήκες (Παπαζαφειρίου, 1999) και από τις τιμές που έχουν οριστεί από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης με βάση την οδηγία. Στις περιπτώσεις στις οποίες δεν υπήρχαν τιμές για το K_c ανοιγμένες στους μήνες υπολογίστηκαν αυτές με βάση την αρχή και το τέλος των σταδίων ανάπτυξης των φυτών, την διάρκεια τους και τις τιμές K_{c1} , K_{c2} και K_{c3} οι οποίες υπήρχαν για κάθε καλλιέργεια. Για τα σιτηρά, τα κηπευτικά και τα δέντρα θεωρήθηκαν ενιαίες τιμές της K_c ανά είδος καλλιέργειας. Οι τιμές της K_c που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα.

kc /days	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
βαμβάκι	0,2	0	0	0	0	0	0	0,3	0,45	0,75	0,9	0,8
καλαμποκι	0	0	0	0	0	0	0,06	0,37	0,66	0,85	0,9	0,3
καπνός	0	0	0	0	0	0	0	0,35	0,75	1,1	0,95	0
δέντρα	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,7	1	0,9	0,8
μηδική	0	0	0	0	0	0	1,05	1,14	1,18	1,2	1,2	1,2
τεύτλα	0	0	0	0	0	0	0,36	0,64	0,85	0,85	0,3	0
αμπέλια	0	0	0	0	0	0	0,4	0,4	0,45	0,5	0,5	0,4
κηπ/μπο/λουτα	0	0	0	0	0	0	0,34	0,66	0,85	0,5	0	0
σιτηρά	0	0,31	0,5	0,7	0,93	1,12	1,13	0,68	0	0	0	0

Πίνακας 3.4: Τιμές του K_c ανοιγμένες για κάθε μήνα και για κάθε καλλιέργεια(Παπαζαφειρίου, 1999).

3.2.4. Ωφέλιμη (ενεργός) βροχόπτωση

Η υπάρχουσα βροχόπτωση μπορεί να ικανοποιήσει ένα ποσοστό της ζήτησης νερού των καλλιεργειών, το σύνολο της οποίας όμως, δεν μπορεί να θεωρηθεί πως καταλήγει στο φυτό αφού χρειάζεται να ληφθούν υπ' όψη οι απώλειες από την εξατμισοδιαπνοή, την απορροή και την βαθιά διήθηση. Η ποσότητα της βροχόπτωσης που είναι εκμεταλλεύσιμη ονομάζεται ενεργός ή ωφέλιμη βροχόπτωση. Γνωρίζοντας τις απαιτήσεις για κάθε μήνα του έτους υπολογίζουμε με βάση την ενεργό βροχόπτωση ποιες από τις ανάγκες μας μπορούν να ικανοποιηθούν από αυτήν και ποιες από το πότισμα. Συνήθως τους χειμερινούς μήνες, η βροχή ικανοποιεί ένα μεγάλο μέρος εάν όχι το σύνολο των απαιτήσεων και ακολουθούν οι μήνες της άνοιξης και του καλοκαιριού.

Αρχικά υπολογίζουμε το ύψος του νετού μετά από την αφαίρεση των απωλειών που έχουμε από επιφανειακή απορροή και βαθιά διήθηση κάτω από το ρίζωμα, δηλαδή την ωφέλιμη νετόπτωση P_{eff} . Η P_{eff} υπολογίζεται με βάση το μηνιαίο ύψος της

υετόπτωσης με τους παρακάτω τύπους της USDA Soil Conservation Service (Dastane, 1978):

$$P_{\text{eff}} = \frac{P \times (125 - 0.2 \times P)}{125} \quad P < 250 \text{mm}$$

$$P_{\text{eff}} = 125 + \frac{1}{10} P \quad P > 250 \text{mm}$$

όπου P η μηνιαία υετόπτωση.

Επιλέγεται το P_{eff} με όριο τα 250mm μηνιαίας υετόπτωσης, αφού για τόσο υψηλή βροχόπτωση η απώλειες είναι μεγαλύτερες. Η τιμή NIR είναι οι επιπλέον ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών που εκφράζονται σε ύψος νερού σε mm/m^2 και υπολογίζεται σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$\text{NIR} = ET_0 - P_{\text{eff}} > 0 \quad \text{NIR} = ET_0 - P_{\text{eff}}$$

$$\text{NIR} = ET_0 - P_{\text{eff}} < 0 \quad \text{NIR} = 0$$

όπου ET_0 είναι η αναγκαία κατανάλωση και P_{eff} η ωφέλιμη (χρήσιμη) βροχόπτωση. Οι τελικές ανάγκες της κάθε καλλιέργειας σε νερό εκφράζονται από την τιμή Q σε hm^3 σύμφωνα με τον τύπο :

$$Q = \frac{\text{NIR} \times E}{1000}$$

όπου NIR η ανάγκη σε νερό εκφρασμένη σε mm/m^2 και E το συνολικό εμβαδόν της κάθε καλλιέργειας.

Οι συνολικές ανάγκες σε νερό για κάθε μήνα, για την λεκάνη απορροής εκφράζεται σαν άθροισμα των επιμέρους αναγκών των καλλιεργειών και είναι:

$$\Sigma Q_{\text{ολ}} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_8$$

Όπου Q_1 - Q_2 - Q_8 η απαίτηση σε νερό των επιμέρους καλλιεργειών.

3.2.5. Αποδοτικότητα άρδευσης

Για να υπολογιστούν σωστά οι τελικές ανάγκες μιας καλλιέργειας σε αρδευτικό νερό χρειάζεται να συνυπολογίσουμε τις απώλειες στη μεταφορά και την εφαρμογή του νερού στο χωράφι. Η αποδοτικότητα της άρδευσης εισάγει ορισμένους συντελεστές απόδοσης, οι οποίοι προσδιορίζουν την προσαύξηση του νερού για τους διάφορους τρόπους μεταφοράς και άρδευσής του, ώστε να υπολογιστεί η τελική ποσότητα νερού που φτάνει στον αποδέκτη.

Στην λεκάνη μελέτης η μεταφορά του νερού γίνεται με υπό πίεση δίκτυο, το οποίο αποτελείται από κλειστούς αγωγούς με ενδιάμεσα αντλιοστάσια και δίνει το πλεονέκτημα των ιδιαίτερα μικρών απωλειών. Ο συντελεστής απόδοσης ενός υπό πίεση δικτύου είναι 0,8-0,95. Συνεπώς η απόδοση του συστήματος μεταφοράς Εμ.μ. της περιοχής μελέτης δίνεται από τον τύπο:

$$E_{\text{μμ}} = M\pi \times E\pi$$

όπου Εμ.μ. η μέση απόδοση του συστήματος μεταφοράς, Μπ το ποσοστό επί του συνολικού εμβαδού που αντιστοιχεί στον τρόπο μεταφοράς και Επ ο αντίστοιχος συντελεστής απόδοσης.

Οι μέθοδοι άρδευσης που εφαρμόζονται στην περιοχή μελέτης είναι η άρδευση με καταιονισμό και η στάγδην άρδευση (Γεωργιάδου, 2015). Η κάθε μέθοδος άρδευσης έχει συγκεκριμένα ποσοστά χρήσης και απόδοσης που ισχύουν για την περιοχή μελέτης μας (Πίνακας 3.5).

ΤΥΠΟΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ %	ΕΚΤΑΣΗ	ΑΠΟΔΟΣΗ
ΣΤΑΓΔΗΝ	0,45	70659	0,75
ΚΑΤΑΙΟΝΙΣΜΟΣ	0,55	86362	0,65

Πίνακας 3.5: Ποσοστά στην χρήση των τρόπων άρδευσης και απόδοσης για τη λεκάνη απορροής του Αλμυρού.

Συνεπώς για την στάγδην άρδευση η απόδοση επιλέχθηκε 0,75 και για την άρδευση με καταιονισμό επιλέχθηκε απόδοση 0,65. Με βάση τα στοιχεία που έχουμε για τους τρόπους άρδευσης και με τη χρήση του παρακάτω τύπου υπολογίστηκαν οι συντελεστές απωλειών άρδευσης που χρησιμοποιήθηκαν τελικά.

$$Εμα = Ακ \times Εκ$$

όπου Εμ.α. είναι η απόδοση των συστημάτων άρδευσης, Α το ποσοστό επί του συνολικού εμβαδού που αντιστοιχεί σε κάθε τρόπο άρδευσης και Ε οι αντίστοιχοι συντελεστές απόδοσης.

Πολλαπλασιάζοντας τον τελικό συντελεστή με την απαιτούμενη ποσότητα του καθαρού νερού που πρέπει να φτάσει στην καλλιέργεια βρίσκουμε την ποσότητα που πρέπει να απολείψουμε από τις πηγές τροφοδοσίας μας δηλαδή τη μηνιαία ζήτηση των καλλιεργειών για τη λεκάνη απορροής που μελετάμε (Πίνακας). Ο τελικός συντελεστής προσαύξησης υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$Ετ = \frac{1}{Εμμ \times Εμα}$$

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές απόδοσης των συστημάτων μεταφοράς και άρδευσης καθώς και ο τελικός συντελεστής προσαύξησης για τη λεκάνη απορροής του Αλμυρού.

Απόδοση Συστήματος Μεταφοράς (Εμμ)	0,65
Απόδοση Συστημάτων Άρδευσης (Εμα)	0,695
Τελικός Συντελεστής Προσαύξησης (Ετ)	2,213613724

Πίνακας 3.6: Απόδοση συστήματος μεταφοράς, απόδοση συστήματος άρδευσης και τελικός συντελεστής προσαύξησης.

Τελικώς η απαιτούμενη ποσότητα αρδευτικού νερού που υπολογίστηκε για τη μελετώμενη λεκάνη απορροής εμφανίζεται στον επόμενο πίνακα.

ΜΗΝΕΣ	ΖΗΤΗΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ(hm ³)
ΟΚΤ	0
ΝΟΕ	0
ΔΕΚ	0
ΙΑΝ	0
ΦΕΒ	0
ΜΑΡ	0
ΑΠΡ	3,424148347
ΜΑΙ	3,711064539
ΙΟΥΝ	8,969572559
ΙΟΥΛ	15,44982813
ΑΥΓ	12,95974102
ΣΕΠ	5,318827106
ΣΥΝΟΛΟ	49,8331817

Πίνακας 3.7: Απαιτούμενη ποσότητα αρδευτικού νερού για τη λεκάνη απορροής του Αλμυρού, σύμφωνα με την κατανομή των καλλιεργειών το έτος 2009.

3.3.Υπολογισμός αστικής ζήτησης

Εκτιμήθηκαν στη συνέχεια οι υδατικές ανάγκες για αστική χρήση, με πηγές δεδομένων σχετικά με την ύδρευση τα στοιχεία των Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης (ΔΕΥΑ) που λειτουργούν στην υπόψη περιοχή καθώς επίσης και οι απογραφές πληθυσμού της Ε.Σ.Υ.Ε. (Ε.Σ.Υ.Ε., 2011).

Για την καταγραφή του πληθυσμού και την αξιολόγηση της σχετικής ζήτησης που παρατίθεται παρακάτω αξιοποιήθηκαν τα στοιχεία της ΕΣΥΕ από την απογραφή του 2011(μόνιμος πληθυσμός). Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι πληθυσμοί ανά Δήμο που αντιστοιχούν στην περιοχή μελέτης (σε κάποιες περιπτώσεις διαφέρουν από τον συνολικό πληθυσμό του Δήμου ή Δ.Δ).

ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	ΕΤΟΣ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ
	2011
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΛΜΥΡΟΥ	13935
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΝΑΒΡΑΣ	1048
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΤΕΛΕΟΥ	2596
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΟΥΡΠΗΣ	3037
ΕΠΑΡΧΕΙΑ ΑΛΜΥΡΟΥ	20616

Πίνακας 3.8: Απογραφή πληθυσμού κατοικιών 2011(Ε.Σ.Υ.Ε., 2011).

Για τις ανάγκες της παρούσας και συναξιολογώντας τα σχετικά δελτία των ΔΕΥΑ και των Τοπικών Υπηρεσιών Ύδρευσης, υιοθετήθηκε μέση τιμή ημερήσιας κατανάλωσης ανά κάτοικο 170 lt/κατ/ ημέρα. Επίσης αξιοποιώντας τα διαθέσιμα στοιχεία, δηλαδή τα ερωτηματολόγια και την αξιολόγηση σχετικών δεδομένων από άλλες περιοχές αντίστοιχης ανάπτυξης και υποδομών, ελήφθηκε ως παραδοχή απωλειών το 40% του όγκου νερού που παρέχεται για ύδρευση. Υπολογίστηκε η ετήσια κατανάλωση σύμφωνα με τον τύπο :

$$Q_{\mu} = \text{Ημερήσια Κατανάλωση} \times \text{Πληθυσμός} \times 1.4 \times \text{Ημέρες μήνα}$$

Ο ετήσιος όγκος ζήτησης νερού για ύδρευση, εξαιρουμένων των απωλειών είναι 1,2792 hm³ και λαμβάνοντας υπόψη και τις απώλειες ο όγκος αυτός αυξάνεται σε 1,7909 hm³.

Ωστόσο οι αστικές ανάγκες μεταβάλλονται μηνιαίως με τις μεγαλύτερες τιμές τους να επικρατούν τους καλοκαιρινούς μήνες. Έτσι, προκειμένου να κατανεμηθεί η ετήσια κατανάλωση σε κάθε μήνα του έτους, έγινε χρήση συντελεστών, οι οποίοι ορίζονται ως το ποσοστό επί της ετήσιας κατανάλωσης που αντιστοιχεί σε κάθε μήνα. Τα ποσοστά της μηνιαίας κατανάλωσης ως προς την ετήσια κατανάλωση ελήφθησαν από προηγούμενη μελέτη που αφορούσε στην περιοχή της πόλης του Βόλου (Μυλόπουλος και συνεργάτες, 2003).

%	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
	8	5	5	5	5	6	8	10	12	13	13	10

Πίνακας 3.9: Μηνιαία ποσοστά ετήσιας κατανάλωσης νερού(Μυλόπουλος και συνεργάτες, 2003).

Οι μέσες μηνιαίες υδατικές ανάγκες υπολογίστηκαν για κάθε διαμέρισμα σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{Μέσες υδατικές ανάγκες(hm}^3\text{)}=\text{ετήσια κατανάλωση(hm}^3\text{)}\times\text{ποσοστό αντίστοιχου μήνα}/100$$

Τέλος τα αποτελέσματα των ετήσιων, ημερήσιων και μηνιαίων υδατικών αναγκών για κάθε διαμέρισμα και για τη λεκάνη απορροής συνολικά παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΖΗΤΗΣΗΣ ΥΔΡΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ		ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΤΗΣΙΑΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΜΕ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ 40%(hm ³)
	ΕΤΗΣΙΑ(lt/Y)	ΗΜΕΡΗΣΙΑ(lt/day)	
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΛΜΥΡΟΥ	864666750	2368950	1,21
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΝΑΒΡΑΣ	65028400	178160	0,09
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΤΕΛΕΟΥ	161081800	441320	0,23
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΟΥΡΙΠΗΣ	188445850	516290	0,26
ΕΠΑΡΧΕΙΑ ΑΛΜΥΡΟΥ	1279222800	3504720	1,79

Πίνακας 3.10: Ετήσια και ημερήσια ζήτηση υδρευτικού νερού.

ΜΗΝΕΣ	ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΑΣΤΙΚΕΣ ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ(hm ³)
ΟΚΤ	0,143272954
ΝΟΕ	0,089545596
ΔΕΚ	0,089545596
ΙΑΝ	0,089545596
ΦΕΒ	0,089545596
ΜΑΡ	0,107454715
ΑΠΡ	0,143272954
ΜΑΙΟΣ	0,179091192
ΙΟΥΝ	0,21490943
ΙΟΥΛ	0,23281855
ΑΥΓ	0,23281855
ΣΕΠ	0,179091192

Πίνακας 3.11: Μέσες μηνιαίες αστικές υδατικές απαιτήσεις για την επαρχία του Αλμυρού σε hm³.

4. ΥΔΡΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΠΛΗΡΕΣ ΚΟΣΤΟΣ ΝΕΡΟΥ

4.1. Ανάπτυξη υδρο-οικονομικού μοντέλου για την απεικόνιση πλήρους κόστους νερού

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει ο βασικότερος παράγοντας γύρω από τον οποίο αναπτύχθηκε όλη η έννοια του μοντέλου είναι το πλήρες κόστος νερού. Για την εκτίμηση και τον υπολογισμό των περισσότερων παραμέτρων του μοντέλου αυτού το βασικότερο στοιχείο είναι το υδατικό ισοζύγιο και ύστερα τα καθαρά κέρδη που προκύπτουν από την αγροτική δραστηριότητα της περιοχής. Εφόσον η λεκάνη απορροής εξυπηρετείται πλήρως από τον υπόγειο υδροφόρα, είναι φυσικό να μην υπάρχει χρηματοοικονομικό κόστος αφού απουσιάζουν τα επιφανειακά ύδατα και οι αρμόδιοι ΤΟΕΒ. Το κόστος πόρου υπολογίστηκε με δυο μεθόδους με βάση τους δύο ορισμούς που αποδίδονται σε αυτό. Η πρώτη μέθοδος το προσεγγίζει ως «διαφυγόν κέρδος» εξαιτίας του ελλειμματικού υδατικού ισοζυγίου, και η δεύτερη ως «κόστος ευκαιρίας» (ή κόστος εναλλακτικών χρήσεων) από τη βέλτιστη κατανομή των υδατικών πόρων. Τα αποτελέσματά τους υποδεικνύουν τη συμφωνία των δύο προσεγγίσεων, και κατ' επέκταση των διαφορετικών ορισμών. Το περιβαλλοντικό κόστος αντιμετωπίστηκε ως κόστος που προκύπτει από την ποιοτική υποβάθμιση των υδατικών πόρων, εξισώνοντάς το έτσι με το κόστος απορρύπανσης των ΥΣ, μέχρι οι συγκεντρώσεις των ρύπων να φτάσουν στα επιτρεπόμενα όριά τους.

Για τη μείωση της ζήτησης στην άρδευση, η οποία ευθύνεται και για τη μεγαλύτερη κατανάλωση νερού, αναπτύχθηκαν κάποια διαχειριστικά σενάρια και επιπρόσθετα τεχνικά μέτρα. Πιο αναλυτικά αναπτύχθηκαν τέσσερα διαχειριστικά σενάρια:

Σενάριο 1: Βασικό σενάριο (Baseline scenario), είναι η υφιστάμενη κατάσταση στη λεκάνη απορροής. Στην περίπτωση αυτή οι υδατικές ανάγκες καλύπτονται πλήρως από τον υπόγειο υδροφόρα.

Σενάριο 2: Μείωση των απωλειών. Χρησιμοποιείται υψηλότερος συντελεστής απόδοσης διανομής άρδευσης, ίσος με 0.8 αντί 0.65 για το υπόγειο δίκτυο. Οι διαφορές στους συντελεστές προκύπτουν από τις εκτιμήσεις των αποδόσεων παρόμοιων εφαρμογών από μετρήσεις πεδίου.

Σενάριο 3: Αντικατάσταση μεθόδων άρδευσης με αποδοτικότερες. Προηγούμενες μελέτες στην περιοχή έδειξαν ότι η πλειοψηφία των γεωργών της λεκάνης χρησιμοποιούν συστήματα τεχνητής βροχής για την άρδευση. Στο σενάριο αυτό ο καταιονισμός αντικαθίσταται πλήρως από στάγδην άρδευση, η οποία είναι αποδοτικότερη, συμβαδίζοντας με την πολιτική που προώθησαν οι τελευταίες κρατικές ενισχύσεις στους αγρότες της περιοχής, για αυτό το σκοπό.

Σενάριο 4: Αντικατάσταση του 20% βαμβακιού με 10% σιτάρι και 10% αραβόσιτο πάνω στην κατάσταση 1.

Κάθε αποτέλεσμα(output) του μοντέλου προσομοίωσης εξετάζεται υπό αυτά τα τέσσερα διαχειριστικά σενάρια. Για τη μελετώμενη λεκάνη απορροής η κύρια κατανάλωση νερού όπως είδαμε αποδίδεται στη γεωργία και ακολούθως στην αστική χρήση με πολύ μικρότερο ποσοστό. Αυτός είναι και ο λόγος που σε όλα τα σενάρια μεταβάλλεται η αγροτική χρήση νερού ενώ η αστική παραμένει σταθερή στο υδατικό ισοζύγιο.

4.2.Υδατικό Ισοζύγιο

Το υδατικό ισοζύγιο υπολογίστηκε τελικώς με βάση την τελική ζήτηση και τη διαθέσιμη ποσότητα νερού, που εκτιμήθηκε από το υδρολογικό μοντέλο UTHBAL.

Η εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου προέκυψε προσομοιώνοντας τις πηγές προσφοράς νερού και τη ζήτηση για όλες τις χρήσεις. Οι υδατικές ανάγκες που αφορούν στη χρήση νερού όπως έχουμε αναφέρει και προηγουμένως είναι: γεωργική, αστική, βιομηχανική, τουριστική και κτηνοτροφική. Προηγουμένως υπολογίστηκαν για τη λεκάνη απορροής που εξετάζουμε οι σημαντικές υδατικές ανάγκες(ζήτηση) που επηρεάζουν το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής. Το υδατικό ισοζύγιο υπολογίστηκε ως η διαφορά προσφοράς μείον ζήτησης σε μηνιαίο και ετήσιο υδατικό βήμα.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε είχε τις βάσεις του στην ανάπτυξη μεθοδολογίας κοστολόγησης του αρδευτικού νερού, σύμφωνα με την Οδηγία Πλαίσιο 2000/60/EK. Εφόσον, όπως έχουμε αναφέρει, δεν υπάρχουν επιφανειακά ύδατα η εξυπηρέτηση των υδατικών αναγκών γίνεται αποκλειστικά από τον υπόγειο υδροφορέα. Η λεκάνη όλη ορίστηκε σαν μία ζώνη, ώστε το συνολικό κόστος νερού να εξάγεται από το υδατικό σώμα που εξυπηρετείται η έκταση, δηλαδή τον υπόγειο υδροφορέα. Αυτή η προσέγγιση βρίσκεται σε συμφωνία και με τη μελέτη των Σχεδίων Διαχείρισης του ΥΠΕΚΑ (2012).

Τα αποτελέσματα συνεπώς του υδατικού ισοζυγίου καθώς και της τελικής ζήτησης για κάθε διαχειριστικό σενάριο και για όλη τη λεκάνη απορροής, η οποία εξυπηρετείται από τον υπόγειο υδροφορέα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα σε ετήσιο βήμα, ενώ το σχήμα που ακολουθεί αναπαριστά το υδατικό ισοζύγιο σε μηνιαίο βήμα ενδεικτικά για το σενάριο βάσης.

Διαχειριστικά Σενάρια	Ετήσια ζήτηση νερού(hm ³)	Ετήσιο υδατικό ισοζύγιο(hm ³)
Σενάριο 1	51,62409362	-20,4307952
Σενάριο 2	42,28037205	-11,08707364
Σενάριο 3	47,9696603	-16,77636188
Σενάριο 4	49,87606955	-18,68277113

Πίνακας 4.1: Πίνακας αποτελεσμάτων του υδρο-οικονομικού μοντέλου: ζήτηση νερού και έλλειμμα ισοζυγίου.



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα διακύμανσης υδατικού ισοζυγίου σε μηνιαίο βήμα για το σενάριο βάσης.

4.3.Καθαρά κέρδη από αγροτική δραστηριότητα

Για την εκτίμηση των καθαρών κερδών από την αγροτική δραστηριότητα έγινε χρήση ενός απλού λογιστικού μοντέλου, που περιγράφει η εξίσωση:

$$NP = GP - TPC$$

όπου, NP είναι το καθαρό κέρδος (Net Profit), GP το ακαθάριστο κέρδος (Gross Profits) και TPC το συνολικό κόστος παραγωγής (Total Production Cost).

Το κέρδος κάθε καλλιέργειας, θεωρήθηκε ότι ισούται με το άθροισμα της Ακαθάριστης Προσόδου και της Επιδότησης. Με τον όρο Ακαθάριστη Πρόσοδος εννοείται το έσοδο που θα αποφέρει η πώληση της μέσης εκτιμώμενης παραγωγής, με την ισχύουσα ΔΤΠ(Αλαμάνος Α., 2019).Το κόστος παραγωγής κάθε καλλιέργειας ορίζεται ως το σύνολο των δαπανών για την παραγωγή μια μονάδας προϊόντος κατά την περίοδο από την έναρξη της παραγωγικής διαδικασίας μέχρι τη διάθεσή του στην αγορά. Στην περίπτωση μας τα δεδομένα του κόστους αφορούν το άθροισμα των δαπανών για λίπανση, ζιζανιοκτόνα, σπόρο, δύο ψεκασμούς, αποφυλλωτικά, κόστος συγκομιδής, κόστος άρδευσης, πετρέλαιο, εργατικά, κόστος φύτευσης, μηχανικές εργασίες, γεωργικές εισφορές και σταθερά κόστη (π.χ. αποσβέσεις μηχανημάτων)(Αλαμάνος Α., 2019). Το καθαρό κέρδος θα προκύψει από τη διαφορά των δύο κερδών.

Ως δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν οι εκτάσεις, τα είδη και η κατανομή των καλλιεργειών, η μέση στρεμματική τους απόδοση, οι τιμές των προϊόντων, οι επιδοτήσεις και το κόστος παραγωγής. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα απαραίτητα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από στοιχεία του ΥΠΑΝ (2012), των Σχεδίων Διαχείρισης του Υπουργείου Ανάπτυξης, του ΟΠΕΚΕΠΕ, Αγροτικών Συνεταιρισμών και Οδηγιών

παραγωγής και επενδύσεων σε καλλιέργειες (Agrenda, Agronews, και από πρωτογενή δεδομένα καλλιεργητών).

Καλλιέργεια	Μέση απόδοση (kg/στρ.)	Τιμή προϊόντος (€/kg)	Επιδότηση (€/στρ.)	Κόστος παραγωγής (€/στρ.)
Μηδική	1500	0,173	60	150
Καλαμπόκι	1100	0,15	25	93
Σιτάρι	340	0,19	40	50
Βαμβάκι	330	0,43	85	135
Δενδρώδη/Λοιπά	1000	0,53	65	240
Ζαχαρότευτλα	6700	0,045	40	230
Αμπέλια	5350	0,06	24	260
Ελιές	85	3,7	50	230
Ρύζι	750	0,43	33	220
Κηπευτικά/Λοιπά	1950	0,26	0	270
Πατάτες	3600	0,37	60	750

Πίνακας 4.2: Δεδομένα για τον υπολογισμό του καθαρού κέρδους από την αγροτική δραστηριότητα. Οι τιμές αναφέρονται στα έτη 2014-15, ανοιγμένες σε τιμές 2018. (Πηγές: δεδομένα αγροτικών συνεταιρισμών, οδηγιών παραγωγής και επενδύσεων σε καλλιέργειες και πρωτογενή δεδομένα καλλιεργητών).

Τα αποτελέσματα των καθαρών κερδών εξήχθησαν για όλη τη λεκάνη απορροής, δηλαδή για όλη την εξυπηρετούμενη έκταση από τον υπόγειο υδροφόρα, και για κάθε διαχειριστικό σενάριο και παρουσιάζονται στον πίνακα παρακάτω:

Διαχειριστικά Σενάρια	Καθαρά Κέρδη(εκ.€) Υπόγειος υδροφόρας
Σενάριο 1	9,328
Σενάριο 2	9,328
Σενάριο 3	9,321
Σενάριο 4	9,221

Πίνακας 4.3: Τελικά αποτελέσματα καθαρού κέρδους για κάθε διαχειριστικό σενάριο.

4.4.Κόστος φυσικού πόρου

Για την εύρεση του κόστους πόρου προτείνονται δύο μέθοδοι, οι οποίες βασίζονται και οι δύο στους ορισμούς που δόθηκαν προηγουμένως. Αναλυτικότερα στην πρώτη μέθοδο προσεγγίστηκε το κόστος πόρου ως απώλεια οφέλους λόγω του περιορισμού των διαθέσιμων υδατικών πόρων σε βαθμό μεγαλύτερο από το φυσικό ρυθμό ανανέωσης τους, ενώ στη δεύτερη ως η διαφορά από τη βέλτιστη χρήση, του όταν το νερό δε διατίθεται σε αυτήν, ενώ υπάρχουν άλλες χρήσεις που αποφέρουν μεγαλύτερο κέρδος.

Όσον αφορά την πρώτη μέθοδο, αντιμετωπίζει το κόστος πόρου ως διαφυγόν κέρδος. Πιο συγκεκριμένα κατανέμεται το έλλειμα του υδατικού ισοζυγίου, που υπολογίστηκε, στην υπάρχουσα κατανομή καλλιεργειών. Το έλλειμα(σπανιότητα) δύναται να εξυπηρετήσει μια έκταση καλλιεργειών, για την οποία υπολογίζονται τα κέρδη της αγροτικής εκμετάλλευσής της.

Τα ελλείματα δηλαδή κατανέμονται στην υπάρχουσες καλλιέργειες έτσι ώστε να μη γίνει εσκεμμένα υπερεκτίμηση ή υποεκτίμηση του κόστους. Η κατανομή δε γίνεται με γνώμονα το τι θα συνέφερε χωρικά να εξυπηρετηθεί αλλά με ποσοστά χρήσης νερού. Επιλέχθηκε να μη χρησιμοποιηθεί όλη η ποσότητα του νερού που λείπει στην επικερδέστερη καλλιέργεια, ή στις πιο κερδοφόρες, διότι έτσι θα καταλήγαμε ηθελημένα στο μέγιστο δυνατό κέρδος. Έτσι το νερό κατανέμεται στις ήδη υπάρχουσες καλλιέργειες, οι οποίες αποτελούν και τις προτιμήσεις των χρηστών. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται τυχόν υποκειμενικότητες και θέματα χωρικής βελτιστοποίησης, τα οποία οποιαδήποτε στιγμή είναι πιθανό να αλλάξουν, μαζί με την κατανομή καλλιεργειών. Επομένως πρόκειται για έναν αντικειμενικό τρόπο υπολογισμού που αντικατοπτρίζει μια ρεαλιστική εφαρμογή μιας αντίστοιχης κατάστασης διάθεσης και διανομής αρδευτικού νερού, με τις πραγματικές συνθήκες και όχι μία θεωρητική κατάσταση υπολογισμού, όπως άλλες προσεγγίσεις(Αλαμάνος Α., 2019).

Το συνολικό καθαρό κέρδος που προκύπτει από τη χρήση του ελλείματος αποδίδει το κόστος πόρου, δηλαδή την αξία του νερού που έπρεπε να χρησιμοποιείται. Το κέρδος αυτό υπολογίζεται ουσιαστικά ως η διαφορά των κερδών από τις δυνητικά εξυπηρετούμενες εκτάσεις από τη φυσική προσφορά νερού, από τις συνολικά εξυπηρετούμενες εκτάσεις.

Τα αποτελέσματα του κόστους πόρου για κάθε διαχειριστικό σενάριο, σύμφωνα με την πρώτη μεθοδολογία παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.2: Ετήσιο κόστος φυσικού πόρου, σύμφωνα με τη μεθοδολογία των διαφυγόντων κερδών, υπό τα διαχειριστικά σενάρια.

Ο δεύτερος τρόπος υπολογισμού θεωρεί το κόστος πόρου ως τη διαφορά οφέλους της υφιστάμενης από τη βέλτιστη χρήση του. Η εκτίμηση αυτή, στηρίζεται θεωρητικά στους δοθέντες ορισμούς και ερμηνεύεται από την άριστη κατανομή πόρων κατά Pareto (Αλαμάνος Α., 2019). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

1. Αρχικά έχει υπολογιστεί το κέρδος από τη χρήση της υφιστάμενης έκτασης Α (με αρνητικό ισοζύγιο).
2. Επιλέχθηκε η μέθοδος της βελτιστοποίησης σύμφωνα με την οποία εξάγεται μια νέα κατανομή καλλιεργειών. Χρησιμοποιείται η αντικειμενική συνάρτηση:

$$Z(\max) = \sum_i (n p_i \times x_i)$$

Όπου οι μεταβλητές απόφασης (x_i) είναι οι εκτάσεις της κάθε καλλιέργειας, ώστε να μεγιστοποιείται το καθαρό κέρδος των γεωργών (Z_{\max}), όπου υπολογίζεται για κάθε καλλιέργεια σε (€/στρέμμα) όπως αναλύθηκε προηγουμένως.

Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι περιορισμοί:

- Αρχικά βασικός περιορισμός είναι ότι χρησιμοποιήθηκε μόνο η προσφερόμενη ποσότητα νερού, δηλαδή τα ανανεώσιμα αποθέματα νερού για τα υπόγεια ύδατα, ώστε να μην υπάρξει αρνητικό ισοζύγιο. Δηλαδή η τελική υδατική απαίτηση (w_i) κάθε καλλιέργειας (σε m^3) επί την έκτασή της (x_i σε στρέμματα) να μην υπερβαίνει τη συνολική προσφερόμενη ποσότητα νερού (TWA):

$$\sum_i (w_i \cdot x_i) \leq TWA$$

Η προσφορά (TWA) αποτελεί πάντα τον περιορισμό ενώ η ζήτηση (w_i) αλλάζει ανάλογα με κάθε σενάριο.

- Η διαθέσιμη έκταση δεν πρέπει να ξεπεραστεί με την αλλαγή εκτάσεων και καλλιεργειών:

$$\sum_i (x_i) \leq \text{Total Area}$$

- Επίσης δεν πρέπει να ξεπεραστεί η ήδη εφαρμοσμένη λίπανση (fert) σε kg/στρέμμα καλλιέργειας:

$$\sum_i (\text{fert}_i \cdot x_i) \leq \text{TF}$$

- Ακόμα πρέπει να παραμείνουν σταθερές(να μην αυξηθούν) και οι ώρες εργασίας(lh) σε hours/στρέμμα καλλιέργειας:

$$\sum_i (\text{lh}_i \cdot x_i) \leq \text{TLH}$$

- Τέλος προκειμένου να μην καλυφθεί η λεκάνη από συγκεκριμένες καλλιέργειες, τις πιο κερδοφόρες, μπαίνει περιορισμός για το κατά πόσο θα αλλάξουν οι εκτάσεις του υφιστάμενου καλλιεργητικού πλάνου. Αυτός ο περιορισμός για κάθε καλλιέργεια(μεταβλητή απόφασης) προέκυψε από την κατανομή ενός τυπικού στρέμματος στη λεκάνη, δηλαδή τα ανώτατα και κατώτατα όρια εκτάσεων που καταλαμβάνει κάθε καλλιέργεια τα τελευταία 10 χρόνια.
3. Το πρόβλημα της μεγιστοποίησης καταλήγει σε μια νέα κατανομή καλλιεργειών(έκταση B), η οποία είναι μικρότερη από την υφιστάμενη, αφού το διαθέσιμο νερό έχει μειωθεί. Η υπόλοιπη έκταση (δηλαδή η διαφορά έκτασης A-έκταση B) συμπληρώνεται με ξηρικές καλλιέργειες, ομοίως με τη μέθοδο της βελτιστοποίησης, ώστε να επιτευχθεί το μέγιστο κέρδος καλύπτοντας τη διαθέσιμη έκταση και με δεδομένο ότι δε χρειάζεται επιπλέον εφαρμογή άρδευσης και οι υδατικές τους ανάγκες καλύπτονται από τη βροχή.
 4. Τελικά προκύπτει η νέα κατανομή καλλιεργειών, έκταση A', η οποία ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς που έχουν τεθεί προηγουμένως, και υπολογίζονται τα κέρδη από την αγροτική της εκμετάλλευση. Η διαφορά της βελτιστοποιημένης από την υφιστάμενη κατάσταση, δηλαδή κέρδη έκτασης A' - κέρδη έκτασης A, ισούται με το κόστος πόρου.

Τα αποτελέσματα της δεύτερης μεθοδολογίας για κάθε διαχειριστικό σενάριο, για τη μελετώμενη λεκάνη απορροής παρουσιάζονται παρακάτω.



Σχήμα 4.3: Ετήσιο κόστος φυσικού πόρου, σύμφωνα με τη μεθοδολογία διαφοράς οφέλους από τη βέλτιστη χρήση του υπό τα διαχειριστικά σενάρια.

Επίσης παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν.



Σχήμα 4.4: Διάγραμμα σύγκρισης των δύο μεθοδολογιών υπολογισμού του ετήσιου κόστους φυσικού πόρου.

Ο 1^{ος} τρόπος αναπαριστά την υφιστάμενη κατάσταση, τη δεδομένη χρονική στιγμή και γι' αυτόν το λόγο ενδείκνυται για βραχυπρόθεσμη εκτίμηση του κόστους. Ο 2^{ος} τρόπος σε αντίθεση με τον 1^ο δίνει μικρότερα κόστη και ενδείκνυται για μακροπρόθεσμη εκτίμηση καθώς είναι κατάλληλος για τον υπολογισμό κόστους σε ένα έτος-στόχο (Αλαμάνος Α., 2019). Επίσης στη διαδικασία βελτιστοποίησης στο 2^ο τρόπο, όσο οι περιορισμοί της μεταβολής των εκτάσεων είναι «αυστηροί» (δηλαδή πιο κοντά στην υφιστάμενη κατάσταση), τόσο περισσότερο συγκλίνουν τα δύο μοντέλα. Στο διάγραμμα σύγκρισης παρουσιάζεται η σύγκλιση των δύο αυτών μοντέλων επιβεβαιώνοντας την προηγούμενη εφαρμογή της μεθόδου (Αλαμάνος Α., 2019) ότι τα δύο αυτά μοντέλα και συνεπώς οι δύο έννοιες του κόστους μπορούν να συνδυαστούν επιτυχώς.

4.9. Περιβαλλοντικό κόστος

Το περιβαλλοντικό κόστος ορίζεται ως η ζημία που προκαλούν οι χρήσεις ύδατος στο περιβάλλον και τα υδατικά οικοσυστήματα, καθώς και εκείνοι που χρησιμοποιούν το περιβάλλον (WATECO, 2003). Το περιβαλλοντικό κόστος περιλαμβάνει την απώλεια αξίας χρήσης (use value) και αξίας μη χρήσης (non-use value) ή ύπαρξης ή διατήρησης, και λειτουργεί ως εξωτερικότητα (externality) που δημιουργείται από τις δραστηριότητες του ανθρώπου και εξωτερικεύονται με τη μορφή της περιβαλλοντικής υποβάθμισης. Η αξία χρήσης αντανακλά την χρησιμότητα που αντλεί το άτομο από την κατανάλωση του πόρου (πόσιμο νερό, παραγωγικές διαδικασίες, αναψυχή) ενώ οι αξίες

μη χρήσης αναφέρονται στην χρησιμότητα που συνεπάγεται η ύπαρξη του πόρου και η διατήρησή του για τις επόμενες γενιές (Κουντούρη, 2008).

Εξωτερικότητα είναι η κατάσταση κατά την οποία η κατανάλωση ή η χρήση ενός αγαθού από κάποιον καταναλωτή μπορεί να προκαλέσει επιπτώσεις θετικές ή αρνητικές σε άλλους καταναλωτές οι οποίοι αντίστοιχα χρησιμοποιούν και καταναλώνουν το ίδιο αγαθό και δεν πληρώνουν για τη βελτίωση ούτε όμως αποζημιώνονται για τη χειροτέρευση της ευημερίας τους. Για τη διαχείριση υδάτινων πόρων η εξωτερικότητα μπορεί να διακριθεί σε ποιοτική ή ποσοτική. Οι ποιοτικές εξωτερικότητες αναφέρονται στο κοινωνικό κόστος που μπορεί να προξενήσει η υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτινων πόρων από τις διάφορες χρήσεις. Η μείωση της κοινωνικής ευημερίας προκαλείται από τη μείωση της δυνατότητας των ατόμων να αντλούν αξίες από τους υδάτινους πόρους (WATECO, 2003).

Οι αξίες αυτές είναι τόσο πολύπλοκο να εκτιμηθούν ώστε υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για το σκοπό αυτό, οι οποίες όμως δεν είναι εύκολα συγκρίσιμες ως προς την εγκυρότητά τους. Η εγκυρότητα της κάθε μίας εξαρτάται από το πλαίσιο στο οποίο χρησιμοποιείται και τα οφέλη που μελετώνται. Καθεμιά είναι κατάλληλη για διαφορετική περίπτωση (Agudelo, 2001; Young, 2005). Το θέμα της οικονομικής αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων δεν έχει άμεση και σαφή προσέγγιση και γι' αυτό έχουν προταθεί διαφορετικές μεθοδολογίες εκτίμησης συνοδευόμενες από αντίστοιχους περιορισμούς (Bithas, 2011).

Η μέθοδος που χρησιμοποιούμε εδώ αντιμετωπίζει το περιβαλλοντικό κόστος ως κόστος απορρύπανσης. Η προσέγγιση αυτή στηρίζεται στην αντίστοιχη του ΥΠΕΚΑ (2012) όπου θεωρήθηκε ως το κόστος αποτροπής ή και περιορισμού της ρύπανσης (Αλαμάνος Α., 2019). Στην αγροτική ρύπανση, την οποία και μελετάμε, η ρύπανση δεν είναι σημειακή αλλά διάχυτη. Αυτομάτως λοιπόν το περιβαλλοντικό κόστος υπολογίζεται ως κόστος απορρύπανσης.

Αρχικά απαιτείται γνώση της χημικής σύστασης των υδατικών σωμάτων της λεκάνης απορροής, δηλαδή του υπόγειου υδροφορέα. Η παρακολούθηση της ποιότητας του υπόγειου υδροφορέα είναι αρμοδιότητα του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), μέσω ενός μεγάλου αριθμού πηγαδιών παρακολούθησης. τα στοιχεία της ποιότητας που εξετάστηκαν περιλάμβαναν φυσικοχημικές παραμέτρους, τις κύριες ανόργανες ενώσεις, όπως νιτρικά (NO_3^-), νιτρώδη (NO_2^-), θειούχα (SO_4^{2-}), χλωριούχα (Cl^-), σίδηρο (Fe), ασβέστιο (Ca^{2+}), μαγνήσιο (Mg^{2+}), ηλεκτρική αγωγιμότητα, καθώς και τα φυτοφάρμακα που αποτελούν τους κυριότερους οργανικούς ρύπους της περιοχής μελέτης (Αλαμάνος Α., 2019).

Για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού κόστους ως κόστος απορρύπανσης συγκεντρώθηκαν οι μέγιστες τιμές των ρύπων (mg/l) από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε 13 υδροσημεία που ορίστηκαν στην περιοχή μελέτης από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) την περίοδο 2004-2008. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων πριν την αραίωση.

ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΙΓΜΕ Υ.Υ.(2004-2008)/ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΡΑΙΩΣΗ														
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΔΡΟΣΗΜΕΙΟΥ	Ph	Αγωγ. (μs/cm)	Ca(mg/l)	Mg(mg/l)	Cl(mg/l)	SO4(mg/l)	NO3(mg/l)	NO2(mg/l)	Fe(mg/l)	CO3(mg/l)	HCO3(mg/l)	Na(mg/l)	K(mg/l)	NH4(mg/l)
A1	7,2	2908	277	66,6	805	91,5	14,8	0,1	0,2	0	174	2,12	5,5	0,5
Γ12	7,3	1147	163,53	19,46	269,47	33,62	18,6	0,1	0,2	0	173,3	29,89	1,56	0,5
Γ17	7,6	752	93,39	30,5	46,82	41,6	34,1	0,1	0,2	0	318,04	16,1	0,8	0,5
Γ2	7	641	99,4	7,78	29,43	23	49,61	0,1	0,2	0	250,18	14,82	0,87	0,5
Γ26	7,6	3920	189,98	77,32	1258,42	124,88	25	0,1	0,2	0	247,71	586,21	29,22	0,5
Γ33	7,9	813	99,64	24,9	71,27	50,1	43,41	0,1	0,2	0	256,28	18,39	4,78	0,5
Γ5	7,9	1198	134,19	29,18	199,97	40,6	49,61	0,1	0,2	0	240,42	58,29	1,3	0,5
Γ53	7,1	682	107	10,2	24,5	12,5	77,8	0,1	0,2	0	264	10,2	0,9	0,5
Γ61	7,4	522	77,76	13,13	39	24,02	31,01	0,1	0,2	0	201,37	13,79	1,56	0,5
ΥΓ2/82	7,5	2102	108	48,6	349	83	25	0,1	0,2	0	448	230	7,4	0,5
ΥΓ1/82	7,3	663	116,23	5,35	21,27	19,8	37,21	0,1	0,2	0	317,3	8,94	0,87	0,5
Φ10	7,5	4800	312,62	136,19	1333,15	125,5	49,61	0,1	0,2	0	334,39	485,09	12,6	0,5
Φ32	7,5	958	79,4	38,9	53,2	73,8	49,6	0,1	0,2	0	340	48,3	0,4	0,5
Μέση Τιμή	7,46	1623,54	142,93	39,09	346,19	57,22	38,87	0,10	0,20	0,00	274,23	117,09	5,21	0,50

Πίνακας 4.4: Τιμές συγκεντρώσεων χημικών στοιχείων/ενώσεων για τον υπόγειο υδροφορέα της λεκάνης απορροής του Αλμυρού.

Στον υπολογισμό του περιβαλλοντικού κόστους λαμβάνεται υπόψη η θετική συνεισφορά της ποσοτικής αναπλήρωσης στην ποιότητα του νερού, δηλαδή ο όγκος του νερού που δημιουργεί τη σπανιότητα ή αλλιώς το έλλειμμα του υδατικού ισοζυγίου του υπόγειου υδροφορέα. Επομένως πλέον το κόστος του νερού εκτιμάται με βάση ένα νέο «ισοσκελισμένο» υδατικό ισοζύγιο. Το γεγονός αυτό είναι σημαντικό καθώς το κόστος που προκύπτει από το έλλειμμα έχει ήδη υπολογιστεί ως κόστος πόρου και έτσι αποφεύγεται ο διπλο-υπολογισμός, αφαιρώντας το δηλαδή από το περιβαλλοντικό.

Αυτό επιτυγχάνεται ουσιαστικά με την αραίωση της συγκέντρωσης των ρύπων(σε mg/l) που έχουν βρεθεί στο υδατικό σύστημα με το έλλειμμα. Οι συγκεντρώσεις μετά την αραίωση(ποσοτική αναπλήρωση) είναι εμφανώς μειωμένες, όπως άλλωστε είναι φυσικό. Με τη σύγκριση των νέων συγκεντρώσεων με τα αντίστοιχα επιτρεπόμενα όριά τους εντοπίζεται πού και κατά πόσο συνεχίζει να υπάρχει ρύπανση. Οι κατευθυντήριες γραμμές, τα πρότυπα και οι κανονισμοί σχετικά με το νερό ύδρευσης, άρδευσης, βιομηχανικής χρήσης, οικολογικής χρήσης και περιβαλλοντικών ορίων για τη βιωσιμότητα των οικοσυστημάτων, καθορίζονται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας και την Ευρωπαϊκή Ένωση (Loukas, 2010). Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα απαιτούμενα όρια που έχουν οριστεί για τον υπόγειο υδροφορέα σύμφωνα με τα οποία πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος για την εύρεση ρύπων στην περιοχή μελέτης.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΤΕΛΕΥΤΑΙΟΥ ΕΤΟΥΣ	ΟΡΙΑ
pH	7,76	9,5
Αγωγιμότητα (μS/cm)	862,74	2500
Ca ⁺² (mg/l)	77,26	100
Mg ⁺² (mg/l)	69,23	50
Na ⁺ (mg/l)	238,79	175
K ⁺ (mg/l)	9,34	12
Fe ⁺³ (mg/l)	0,26	0,2
Mn ⁺² (mg/l)	0,07	0,05
CO ₃ ⁻² (mg/l)	2,46	100
HCO ³⁻ (mg/l)	388,18	400
Cl ⁻ (mg/l)	155,04	250
SO ₄ ⁻² (mg/l)	106,61	250
PO ₄ ⁻³ (mg/l)	0,01	5
NO ³⁻ (mg/l)	17	25
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,01	0,1
NH ₄ ⁺ (mg/l)	1,26	0,5

Πίνακας 4.5: Τιμές ορίων χημικών ενώσεων/στοιχείων που ελέγχθηκαν, για τον υπόγειο υδροφορέα της λεκάνης απορροής του Αλμυρού.

Αν οι τιμές των συγκεντρώσεων είναι εντός ορίων τότε δεν υπολογίζεται περιβαλλοντικό κόστος καθώς έχει ήδη συμπεριληφθεί στο κόστος πόρου. Αν οι τιμές είναι εκτός ορίων, όπως στην περίπτωση που εξετάζουμε, τότε υπάρχει ρύπανση και χρειάζεται να υπολογίσουμε το κόστος απορρύπανσης. Για την εκτίμησή του στον τομέα της γεωργίας χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές αποκατάστασης. Στη διδακτορική εργασία του ο Αλαμάνος(2019) αξιοποίησε συναρτήσεις δυναμικότητας μονάδων απορρύπανσης για την εύρεση του κόστους αποκατάστασης, οι οποίες εξάγουν τα κόστη κεφαλαίου και λειτουργίας τους. Οι συναρτήσεις αυτές αναφέρονται στο αστικό νερό, ωστόσο χρησιμοποιήθηκαν καθώς δεν υφίσταται απορρύπανση αρδευτικού νερού. Αφού ελέγχθηκαν και επιλύθηκαν 88 συναρτήσεις μονάδων απορρύπανσης, προέκυψε το κόστος μονάδων επεξεργασίας λυμάτων συναρτήσει του οργανικού φορτίου, γεγονός όμως που δεν υφίσταται στις καλλιέργειες. Μετά από τη μετατροπή και την επίλυσή τους με μονάδες έκτασης, προκρίθηκαν εκείνες που ήταν συναρτήσει της παροχής εισόδου.

Από τις συναρτήσεις αυτές χρησιμοποιούμε και στην παρούσα εργασία εκείνες που εξάγουν κόστη απορρύπανσης από τις ίδιες μονάδες επεξεργασίας. Οι συναρτήσεις που χρησιμοποιούμε παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Συνάρτηση	Τύπος επεξεργασίας	Παράμετροι
Molinos-Senante et al., 2010	Συστήματα ενεργού ιλύος	Όγκος απαιτούμενης ιλύος, άμμου και νερού
Whittington and Hanemann, 2006	Συστήματα απορρύπανσης υπόγειων υδάτων	Όγκος νερού προς επεξεργασία
Dore et al., 2013	5 διαφορετικοί τύποι	Όγκος νερού προς επεξεργασία
Medeazza et al., 2010	Συστήματα αντίστροφης όσμωσης	Όγκος νερού προς επεξεργασία
Fishman et al., 2009	Συστήματα απορρύπανσης υπόγειων υδάτων	Όγκος νερού προς επεξεργασία
Bergman, 1995	Συστήματα αντίστροφης όσμωσης	Κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας μονάδας απορρύπανσης
CobbDouglas, 1995	Συστήματα αντίστροφης όσμωσης	Κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας μονάδας απορρύπανσης
Rodríguez-Miranda et al., 2015	Συστήματα αναρρόφησης αναερόβιας κλίνης ιλύος, παρατεταμένου αερισμού και δευτεροβάθμιας επεξεργασίας	Όγκος νερού προς επεξεργασία

Πίνακας 4.6: Κατηγοριοποίηση και περιγραφή σημαντικότερων συναρτήσεων που ελέγχθηκαν.

Τα κόστη απορρύπανσης που προέκυψαν μετατράπηκαν σε ελληνικές χρηματικές μονάδες(μέσω του prp index) της ίδιας χρονολογίας(μέσω του Δ.Τ.Κ.). Το περιβαλλοντικό κόστος έγινε αντιληπτό ότι παρουσιάζει μεγάλο εύρος τιμών και αυτό είναι εμφανές στα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα για κάθε διαχειριστικό σενάριο.

ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ(εκατ. €)			
	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
1.Molinos-Senante et al. (2010)	21,93718	23,02997	22,36458	22,14234
2.Whittington & Hanemann 2006	7,023928	6,902037	6,976255	7,001849
3.Dore et al 2013(Actifloc)	1,389454	0,808636	1,16229	1,281519
3.Dore et al 2013(MF-UF)	1,419155	0,840756	1,192937	1,311672
3.Dore et al 2013(SCOR)	1,982872	1,450388	1,774612	1,88398
3.Dore et al 2013(UV Phox)	2,897617	1,745649	2,447069	2,683556
4.Medeazza et al 2010	10,08458	10,21198	10,13441	10,10914
5.Fishman (2009)	10,06889	10,19501	10,11822	10,09321
6.Bergman 1995	20,44493	21,41618	20,8248	20,62736
7.Synartisi Cobb-Douglas	9,987993	10,10753	10,03474	10,01108
8.Rodríguez-Miranda et al., 2015(UASB)	11,24023	7,924591	9,943871	10,62456
8.Rodríguez-Miranda et al., 2015(EA)	14,26547	12,52706	13,5865	13,94375
8.Rodríguez-Miranda et al., 2015(ST)	18,64525	16,91093	17,95037	18,31456

Πίν
ακ
ας
4.7
:
Συν
ολι
κά
απο
τελ
έσμ
ατα
των
συν
αρτ
ήσε
ων
απο
ρρύ
παν
σης
για
την
εξα
γω

γή του ετήσιου περιβαλλοντικού κόστους για κάθε διαχειριστικό σενάριο.

Από τα αποτελέσματα που εξήχθησαν, η επιλογή της κατάλληλης τιμής γίνεται αυθαίρετα και εξαρτάται κυρίως από την πολιτική που εφαρμόζεται πάνω στο θέμα της κοστολόγησης και την οικολογική συνείδηση των αρμόδιων φορέων. Το εργαλείο που θα δώσει τη λύση στον κάθε decision-maker είναι μία αντικειμενική συνάρτηση, που θα λαμβάνει υπόψη την ωφελιμότητα αυτών των αποτελεσμάτων(Μυλόπουλος, 1994). Επιλέχθηκαν τελικά οι συναρτήσεις των οποίων τα αποτελέσματα συγκλίνουν και μέσω των συναρτήσεων ωφελιμότητας αξιολογούνται οι διαφορετικές τιμές που παρουσιάζει το περιβαλλοντικό κόστος. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση ωφελιμότητας του Kirkwood (2002), καθώς εφαρμόζεται καλύτερα στην εξαγωγή μιας τιμής για το περιβαλλοντικό κόστος. Χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

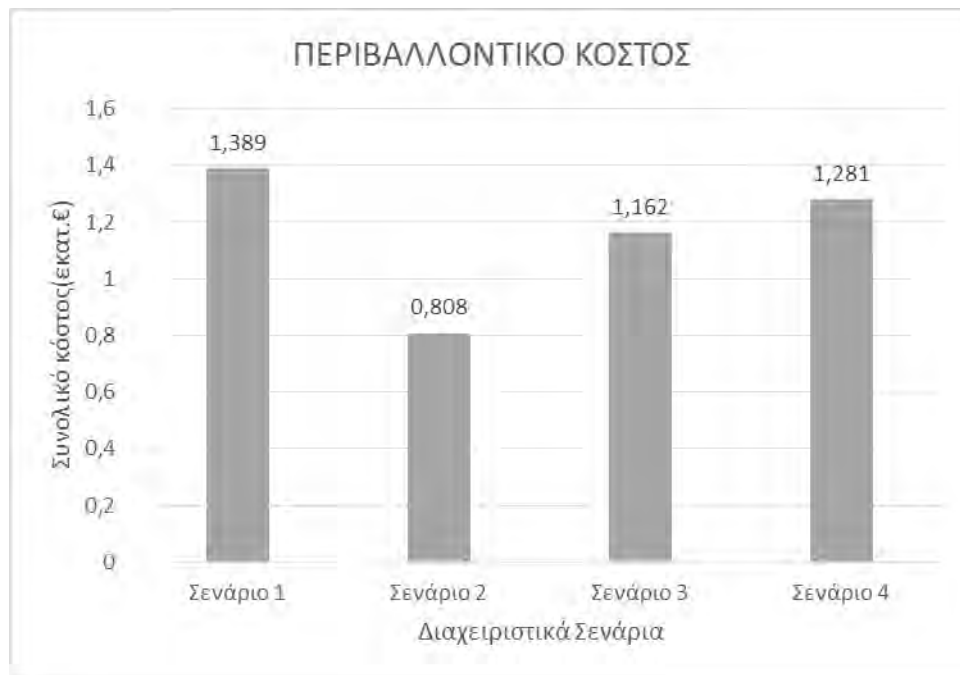
$$U(x) = 1 - e^{(-\frac{x}{R})}$$

όπου U(x) η συνάρτηση ωφελιμότητας, x το «μέτρο» προς αξιολόγηση, και R η «ανεκτικότητα», όπου εκφράζει την απόκλιση της επιχείρησης από την αναμενόμενη πολιτική(Αλαμάνος Α., 2019).

Υπολογίζεται έτσι η ωφελιμότητα κάθε αποτελέσματος x περιβαλλοντικού κόστους. Η τιμή του ΥΠΕΚΑ(ΕCΥΠ), δηλαδή το περιβαλλοντικό κόστος που επιτάσσει το Υπουργείο στα αναθεωρημένα Σχέδια Λεκανών Απορροής λήφθηκε ως αναμενόμενη ή

«αντικειμενική» τιμή προς εφαρμογή του μέτρου κοστολόγησης του αρδευτικού νερού (ΥΠΕΚΑ, 2017). Αυτό το κόστος προέκυψε με βάση το κόστος των σχετικών μέτρων, επομένως η αντικειμενική που χρησιμοποιήθηκε για τα υπόγεια ύδατα είναι 0,097(€/m³).

Εφαρμόζοντας λοιπόν τους τύπους για κάθε διαχειριστικό σενάριο και επιλέγοντας από τις τιμές που συγκλίνουν τη μέγιστη ωφελιμότητα προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα περιβαλλοντικού κόστους:



Σχήμα 4.5: Συνολικά αποτελέσματα ετήσιου περιβαλλοντικού κόστους, για κάθε διαχειριστικό σενάριο.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με την ολοκλήρωση της παραπάνω μεθοδολογίας πλήρους κοστολόγησης του νερού αντιλαμβανόμαστε μια σειρά από πλεονεκτήματα. Αρχικά εκτός από εύκολα εφαρμόσιμη τόσο στα επιφανειακά όσο και στα υπόγεια ύδατα, έχει ένα εύκολα

κατανοητό θεωρητικό πλαίσιο και απαιτεί ελάχιστα δεδομένα. Επιπρόσθετα οι έννοιες περιβαλλοντικό κόστος και κόστος πόρου απλοποιούνται ιδιαίτερος με τους ορισμούς που δίνονται και τον τρόπο που αντιμετωπίζονται, ενώ αποτελεί καινοτομία το γεγονός ότι υπάρχουν ξεχωριστές μεθοδολογίες για το κόστος πόρου με επιτυχημένη ωστόσο τη σύνδεσή του με το περιβαλλοντικό, χωρίς όμως να διπλοϋπολογίζονται. Επιπλέον σε συμφωνία με την ΟΠΥ 2000/60 ο συνδυασμός της οικονομικής διάστασης με την υδρολογική και χημική σύσταση των υδάτων μπορεί να προσφέρει μια ολοκληρωμένη μέθοδο παρακολούθησης των υδατικών πόρων στην εκάστοτε λεκάνη απορροής.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα του πλήρους κόστους νερού(δηλαδή ουσιαστικά αποτελείται από το άθροισμα του κόστους πόρου και του περιβαλλοντικού) στη λεκάνη απορροής του Αλμυρού για κάθε διαχειριστικό σενάριο.

Εξυπηρετούμενες εκτάσεις από υπόγειο υδροφορέα	Διαχειριστικά Σενάρια	Χρημ/κό κόστος (εκ.€)	Κόστος Πόρου(εκ.€) (διαφυγόντα κέρδη)	Περιβ/κό Κόστος (εκ.€)	Συνολικό κόστος (εκ.€)
	Σενάριο 1	-	1,288	1,389	2,677
	Σενάριο 2	-	0,698	0,808	1,506
	Σενάριο 3	-	1,057	1,162	2,219
	Σενάριο 4	-	1,178	1,281	2,459

Πίνακας 5.1: Τελικά αποτελέσματα πλήρους κόστους νερού στη λεκάνη απορροής του Αλμυρού για κάθε διαχειριστικό σενάριο.

Έπειτα από την εύρεση του πλήρους κόστους νερού για τη μελετώμενη λεκάνη απορροής και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν με τα κέρδη από την αγροτική δραστηριότητα που υπολογίστηκαν προηγουμένως, καθίσταται εμφανής η ανάγκη για την εφαρμογή μιας σωστής τιμολόγησης. Αναλυτικότερα στο διάγραμμα που ακολουθεί, παρατηρούμε ότι σε περίπτωση που η ΟΠΥ εφαρμοστεί ακριβώς και κοστολογηθεί το πλήρες κόστος νερού, τα κέρδη από την αγροτική εκμετάλλευση θα μειωθούν κατακόρυφα, περίπου στο $\frac{1}{4}$ της αρχικής τιμής τους. Συνεπώς η ανάλυση στην τιμολόγηση του νερού με σκοπό την ανάκτησή του είναι εξίσου σημαντική με την ανάλυση της κοστολόγησής του.



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα σύγκρισης πλήρους κόστους νερού και κερδών από αγροτική δραστηριότητα για τη λεκάνη απορροής του Αλμυρού.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το παραπάνω σχήμα σε δεύτερη ανάγνωση αντανακλά την αποτελεσματικότητα της μεθόδου. Η μείωση της τιμής του συνολικού κόστους σε κάθε διαχειριστικό σενάριο σε σχέση με τη σενάριο βάσης φανερώνει την εξοικονόμηση των υδατικών πόρων της περιοχής που ήταν και ο κύριος στόχος τους. Στην εκτίμηση του πλήρους κόστους νερού λήφθηκαν υπ' όψη τα αποτελέσματα της πρώτης μεθόδου υπολογισμού του κόστους φυσικού πόρου ώστε να προκύψει μια αντιπροσωπευτική βραχυπρόθεσμη εκτίμηση για την κοστολόγηση του νερού στη λεκάνη απορροής. Η αντικειμενικότητα της μεθόδου επηρεάζεται άμεσα τόσο από την επιλογή της μεθοδολογίας στον υπολογισμό του κόστους πόρων και την επιλογή των περιορισμών όσο και από την επιλογή της τιμής του περιβαλλοντικού κόστους, η οποία είναι καθαρά υποκειμενική. Τα αποτελέσματα εξαρτώνται άμεσα από τον τρόπο που θα ασκηθεί η πολιτική στην εφαρμογή ενός μέτρου και από το κατά πόσο θα γίνει εν τέλει η εφαρμογή της τιμολόγησης έχοντας σκοπό την προστασία και όχι το κέρδος.

6. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

6.1. Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων

Από την αρχή της διπλωματικής εργασίας αναφερθήκαμε στον όρο λειψυδρία ως το βασικό πρόβλημα της σύγχρονης κοινωνίας. Κύριο μέλημα της συγκεκριμένης εργασίας αλλά και άλλων ερευνών είναι η εύρεση εναλλακτικών λύσεων που θα βοηθήσουν στην αντιμετώπιση του προβλήματος και της αυξημένης ζήτησης νερού. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να οδηγηθούμε στο συμπέρασμα ότι η επαναχρησιμοποίηση των εκροών των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων(ΕΕΛ), θα μπορούσε να αποτελέσει μια αποτελεσματική εναλλακτική λύση στις αυξημένες απαιτήσεις νερού παγκοσμίως και κυρίως στις ημιξηρικές και ξηρικές περιοχές.

Ως επαναχρησιμοποίηση νερού(water reuse) νοείται η χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για συγκεκριμένους σκοπούς, όπως άρδευση γεωργικών εκτάσεων και αστικού πρασίνου, παροχή βιομηχανικού νερού, ενίσχυση υγροβιότοπων, χρήση άμεση ή έμμεση στο δίκτυο ύδρευσης αλλά και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων. Συγκεκριμένα στη λεκάνη απορροής που μελετάμε, η οποία έχει οδηγηθεί ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας σε υπεράντληση, η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υδάτων θα μπορούσε να αποτελέσει μια ουσιαστική λύση στο πρόβλημα. Αντίστοιχα ο όρος ανάκτηση αποβλήτων(wastewater reclamation) αναφέρεται στη διαδικασία εκείνη που καθιστά τα υγρά απόβλητα ικανά για επαναχρησιμοποίηση. Κυριότερες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης είναι(Τασούλα Α., 2009):

1. Απεριόριστη αστική άρδευση: επαναχρησιμοποίηση σε δημόσιους χώρους όπως πάρκα, παιδικές χαρές ή σχολικές αυλές.
2. Περιορισμένη αστική άρδευση: επαναχρησιμοποίηση σε χώρους με περιορισμένη πρόσβαση όπως νεκροταφεία, γήπεδα γκολφ ή διαχωριστικές νησίδες εθνικών οδών.
3. Μη πόσιμη αστική χρήση: επαναχρησιμοποίηση σε κατοικίες για καθημερινές ανάγκες όπως κλιματισμός, πυροπροστασία, κατασκευές κ.ά.
4. Γεωργική επαναχρησιμοποίηση σε βρώσιμες συγκομιδές: επαναχρησιμοποίηση για άρδευση βρώσιμων συγκομιδών που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση είτε άμεσα είτε μετά από επεξεργασία.
5. Γεωργική επαναχρησιμοποίηση σε μη βρώσιμες συγκομιδές: επαναχρησιμοποίηση για άρδευση συγκομιδών χορτονομής, λιβαδιών, φυτώριων και αγροκτημάτων γρασιδιών.
6. Απεριόριστη ψυχαγωγική επαναχρησιμοποίηση: επαναχρησιμοποίηση σε δραστηριότητες αναψυχής.
7. Περιορισμένη ψυχαγωγική επαναχρησιμοποίηση: επαναχρησιμοποίηση σε περιορισμένες δραστηριότητες όπως η αλιεία, η κωπηλασία και σε άλλες ψυχαγωγικές δραστηριότητες.
8. Περιβαλλοντική επαναχρησιμοποίηση: επαναχρησιμοποίηση για τη δημιουργία τεχνητών υγροτόπων, τη βελτίωση φυσικών υγροτόπων και τη στήριξη ή αύξηση των παροχών στα ρεύματα.

9. Βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση: επαναχρησιμοποίηση σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις στα συστήματα ψύξης, στο λέβητα και στο γενικό καθαρίσμα.
10. Επαναφόρτιση υπόγειων υδροφορέων: λεκάνες διήθησης, λίμνες διείσδυσης είτε φρεάτια εγχύσεων χρησιμοποιούνται για να επαναφορτίσουν τα υδροφόρα στρώματα.
11. Έμμεση πόσιμη επαναχρησιμοποίηση: το επεξεργασμένο νερό εισάγεται στα υπόγεια ή επιφανειακά ύδατα που θα χρησιμοποιηθούν για πόση.

Κάθε τομέας που μπορεί να εφαρμοστεί η επαναχρησιμοποίηση υδάτων έχει συγκεκριμένους περιορισμούς που είναι απαραίτητο να ακολουθηθούν. Οι περιορισμοί αυτοί αναφέρονται κυρίως στην ποιότητα του νερού, ώστε να μην υπάρχουν κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία ή το περιβάλλον. Τα κριτήρια καθορίζονται για τον εκάστοτε τομέα. Για παράδειγμα στη βιομηχανία τα κριτήρια καθορίζονται από τις απαιτήσεις ποιότητας νερού για κάθε βιομηχανική χρήση. Στην άρδευση, κυρίως λόγω των παθογόνων μικροοργανισμών, υπάρχει έντονος προβληματισμός για τα κριτήρια ποιότητας και πιο συγκεκριμένα κατά πόσο μπορούν να διαφοροποιηθούν ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης και τη χρήση για την οποία προορίζεται η αρδευόμενη καλλιέργεια.

6.2. Ισχύουσα νομοθεσία επαναχρησιμοποίησης στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες.

Η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων για αρδευτικούς σκοπούς παρουσιάζει ανοδική πορεία τα τελευταία χρόνια. Κυρίως στις περιοχές που παρουσιάζουν παροδική ή μόνιμη ξηρασία περισσότερο του 80% των λυμάτων χρησιμοποιείται στην άρδευση καλλιεργειών. Στις ανεπτυγμένες χώρες τα επεξεργασμένα λύματα χρησιμοποιούνται κυρίως για άρδευση αγροτικών καλλιεργειών και αστικού πρασίνου. Στις αναπτυσσόμενες χώρες από την άλλη πλευρά ο συνηθέστερος τρόπος επαναχρησιμοποίησης είναι σχεδόν ο αποκλειστικός. Ωστόσο πολλές χώρες είναι πρωτοπόρες σε αυτό το εγχείρημα, όπως οι ΗΠΑ(πολιτείες Καλιφόρνιας και Αριζόνας κυρίως) και το Ισραήλ.

Στην Ελλάδα, παρότι οι κλιματολογικές συνθήκες είναι παρόμοιες σε πολλές περιοχές, δεν έχει ξεκινήσει ουσιαστικά η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων, πλην ορισμένων εξαιρέσεων. Πιο συγκεκριμένα στην Κω και στην Εύβοια έχει ξεκινήσει απευθείας η άρδευση κάποιων δενδροκαλλιεργειών και χώρων πρασίνου, ενώ στο Ηράκλειο και συγκεκριμένα στην περιοχή της Φοινικιάς έχει ξεκινήσει πιλοτικό έργο με σκοπό να ενισχύσει τον υποβαθμισμένο υπόγειο υδροφόρα. Στη Θεσσαλονίκη ειδικά, όντας η πρώτη πόλη που δόθηκε ολοκληρωμένη αδειοδότηση για επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων, τα λύματα από την ΕΕΛ Θεσσαλονίκης αρδεύουν πειραματικούς αγρούς με καλλιέργειες ζαχαρότευτλων, βαμβακιού, καλαμποκιού, μηδικής, ρυζιού και ανθοκομικών. Στο μέλλον αναμένεται η ανάμειξη των εκροών της ΕΕΛΘ με αρδευτικό νερό σε αναλογία 1:5 και διάθεσή του για άρδευση στο δίκτυο της περιοχής Καλοχωρίου – Χαλάστρας.

Λόγω των κινδύνων που ελλοχεύουν στην επαναχρησιμοποίηση των εκροών των υγρών αποβλήτων στην άρδευση σε πολλές χώρες έχουν εφαρμοστεί ή έχουν ξεκινήσει οι

απαραίτητες διαδικασίες θέσπισης κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης. Οι κανονισμοί αυτοί διαφέρουν από χώρα σε χώρα ενώ στις ΗΠΑ διαφέρουν ακόμα και από πολιτεία σε πολιτεία. Στην Ευρώπη δεν υπάρχει ακόμα κατάλληλη νομοθεσία και συνεπώς τα προγράμματα επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων πραγματοποιούνται σύμφωνα με εθνικές ή και περιφερειακές οδηγίες των χωρών. Μεταξύ των προδιαγραφών που εφαρμόζονται διεθνώς, ενδιαφέρον παρουσιάζουν η Οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (World Health Organization (W.H.O.)), ο Κανονισμός της Πολιτείας της Καλιφόρνια που υιοθετήθηκε από τις πολιτείες της «πράσινης ζώνης» των Η.Π.Α και η Οδηγία της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (U.S. – EPA, (Environmental Protection Agency))(Τασούλα Α., 2009).

Η Οδηγία του W.H.O. (W.H.O., 1989), συνδυάζει τα δεδομένα των επιδημιολογικών ερευνών και τη ρεαλιστική προσέγγιση στις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων. Τα κριτήριά της για τον τομέα της άρδευσης είναι ιδιαιτέρως αυστηρά και ορισμένα από αυτά εφαρμόζονται με αρκετά δαπανηρές διαδικασίες. Το 1989, ο W.H.O. ανακοίνωσε τέσσερις βασικές κατηγορίες μέτρων για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων: (α)Επεξεργασία των λυμάτων, (β)Περιορισμός των τύπων των αρδευόμενων καλλιιεργειών, (γ)Επιλογή μεθόδου άρδευσης και (δ) Έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης στους παθογόνους οργανισμούς των λυμάτων, του εδάφους ή των αγροτικών προϊόντων(Τασούλα Α., 2009). Η Οδηγία αυτή δίνει ιδιαίτερη σημασία στο είδος των καλλιιεργειών, το οποίο διαχωρίζει την άρδευση σε δύο κατηγορίες: την «περιορισμένη άρδευση», της οποίας οι καλλιιεργειες αποτελούνται από προϊόντα που δεν τρώγονται ωμά, και την «απεριόριστη άρδευση», η οποία αφορά κάθε είδος καλλιιεργειας αλλά και άλλες χρήσεις όπως πότισμα γηπέδων κλπ.

Ωστόσο η Οδηγία WHO αναθεωρήθηκε το 2006 και εισάγει ένα βασικό κριτήριο για την προστασία της δημόσιας υγείας, σύμφωνα με το οποίο η κατανάλωση προϊόντων αρδευόμενα με επεξεργασμένα λύματα δε θα πρέπει να οδηγεί σε επιπρόσθετη επιβάρυνση ασθένειας μεγαλύτερη από 10-6 DALY (disability adjusted life year, προσαρμοσμένη σε ανικανότητα ετών ζωής) ανά άτομο ετησίως (PPPY-per person per year).

Παγκοσμίως ο πρώτος πλήρης Κανονισμός για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στη γεωργία εκδόθηκε το 1918 από την πολιτεία της Καλιφόρνια. Από το 1960, η ίδια πολιτεία προχώρησε στην προώθηση πιο αυστηρών και εμπεριστατωμένων κανόνων για την ασφάλεια στη χρήση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων για τις διάφορες χρήσεις όπως η άρδευση, η αστική και βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση, ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων και η πόσιμη χρήση. Ακόμα και σήμερα αποτελούν τη βάση για αρκετά κριτήρια επαναχρησιμοποίησης και σε άλλες πολιτείες της ΗΠΑ αλλά και σε άλλες χώρες.

Σήμερα στην πολιτεία της Καλιφόρνια τα κριτήρια καλύπτουν όρια παθογόνων οργανισμών, θολότητας και απαιτήσεις επεξεργασίας και προδιαγραφές για την αξιοπιστία της επεξεργασίας, τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Είδος χρήσης	Ολικά κολλοβακτηρίδια (TC) / 100 mL	Απαιτούμενη επεξεργασία
Ζωοτροφές, μη βρώσιμες καλλιέργειες, άρδευση οπωρώνων, αμπελώνων, δέντρων που δεν παράγουν καρπούς(π.χ. χριστουγεννιάτικα δέντρα), διακοσμητικών φυτών (1), (1α)	Δεν τίθενται όρια	Δευτεροβάθμια χωρίς απολύμανση
Βοσκότοποι για γαλακτοπαραγωγή ζώα, τεχνητές λίμνες αναψυχής ⁽²⁾ , πότισμα γηπέδων golf, νεκροταφείων κ.λ.π.	< 23/100 mL (διάμεση τιμή)	Απολύμανση και Δευτεροβάθμια – 23
Επιφανειακή άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών ⁽³⁾ τεχνητές λίμνες αναψυχής ^(2α)	< 2.2/100 mL (διάμεση τιμή)	Απολύμανση και Δευτεροβάθμια – 2.2
Άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών με καταιονισμό, πάρκων, παιδικών χαρών, τεχνητές λίμνες αναψυχής ^(2β)	< 2.2/100 mL (διάμεση τιμή, με απόλυτο μέγιστο τα 23/100ml) ⁽⁶⁾	Τριτοβάθμια (οξείδωση, κροκίδωση, καθίζηση, δύλιση) και Απολύμανση ⁽⁴⁾

Πίνακας 6.1: Κριτήρια για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων στην πολιτεία της Καλιφόρνια(Τασούλα Α., 2009).

Για τον παραπάνω πίνακα κριτηρίων για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων οι αριθμοί αναφέρονται στα εξής:

(1): Οι καρποί από τους οπωρώνες και αμπελώνες δεν πρέπει να έχουν έρθει σε επαφή με το νερό άρδευσης ή το έδαφος.

(1α):Απαγορεύεται η άρδευση με ανακτημένο νερό 14 μέρες πριν από τη συλλογή, τη λιανική πώληση ή την άδεια πρόσβασης από το κοινό.

(2): Οι λίμνες βρίσκονται για αισθητική απόλαυση χωρίς το κοινό να έρχεται σε επαφή με το νερό

(2α): Άλλες χρήσεις των λιμνών είναι η αλιεία, ιστιοπλοΐα και ψυχαγωγία με απαγόρευση επαφής του κοινού με το νερό.

(2β): Οι λίμνες για χρήση δεν περιορίζουν την επαφή του νερού με τον άνθρωπο.

(3): Εξαιρούνται κάποιες βρώσιμες καλλιέργειες που υφίστανται επεξεργασία πριν από την κατανάλωσή τους.

(4): Η θολότητα του διυλισμένου νερού έχει ως διάμεση τιμή τις 2 μονάδες(NTU) κατά τη διάρκεια των 24 ωρών. και ως μέγιστη τιμή τις 5 μονάδες(NTU).

(5): Η διάμεση τιμή προκύπτει από τα αποτελέσματα των πιο πρόσφατων αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν των 7 ημερών.

(6): Η μέγιστη τιμή έχει όριο το ένα δείγμα για οποιαδήποτε περίοδο των 7 ημερών.

Επιπλέον περιλαμβάνουν και συγκεκριμένες απαιτήσεις αποστάσεων ασφαλείας σύμφωνα με την εργασία της Τασούλας(2009). Αρχικά απαγορεύεται η άρδευση με απολυμασμένο τριτοβάθμιας επεξεργασίας ανακτημένο νερό σε απόσταση μέχρι 15 m από οποιαδήποτε γεώτρηση πόσιμου νερού αλλά και με επεξεργασίας -2.2 ή με

απολυμασμένο δευτεροβάθμιας επεξεργασίας -23 σε απόσταση μέχρι 30m από οποιαδήποτε γεώτρηση πόσιμου νερού. Επίσης δεν επιτρέπεται η άρδευση με μη απολυμασμένο δευτεροβάθμιας επεξεργασίας ανακτημένο νερό σε απόσταση μέχρι 50m από οποιαδήποτε γεώτρηση πόσιμου νερού. Τέλος δεν επιτρέπεται η εφαρμογή ανακτημένου νερού για άρδευση με καταιονισμό, εκτός αν το ανακτημένο νερό είναι απολυμασμένο τριτοβάθμιας επεξεργασίας, σε απόσταση μέχρι 30 m από κατοικίες, πάρκα, παιδικές χαρές ή αυλές σχολείων. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι σε όλες τις περιοχές που χρησιμοποιείται ανακτημένο νερό πρέπει να τοποθετούνται ορατές σημάνσεις: "ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟ ΝΕΡΟ - ΜΗΝ ΠΙΝΕΙΤΕ".

Τα κράτη των ΗΠΑ που δεν έχουν αναπτύξει ακόμα κανόνες ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης νερού, μπορούν να ακολουθήσουν τις Οδηγίες της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (U.S. EPA). Οι οδηγίες αυτές είναι εφαρμόσιμες και σε άλλες χώρες , εφόσον το επιτρέπουν ωστόσο οι συνθήκες που επικρατούν. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι απαιτούμενες διαδικασίες και τα όρια που πρέπει να ακολουθούνται για την ποιότητα του επανακτημένου νερού σε αρδευτικές εργασίες για βρώσιμες και μη συγκομιδές σε κάποιες πολιτείες των ΗΠΑ.

	Αριζόνα	Καλιφόρνια	Φλόριδα	Χαβάη	Νεβάδα	Τέξας	Ουάσιγκτον
Επεξεργασία	Δευτεροβάθμια επεξεργασία, Διύλιση και Απολύμανση	Οξείδωση, Κροκίδωση, Διύλιση και Απολύμανση	Δευτεροβάθμια επεξεργασία, Διύλιση, και Απολύμανση	Οξείδωση, Διύλιση και Απολύμανση	Δευτεροβάθμια επεξεργασία και Απολύμανση	NS (1)	Οξείδωση, Κροκίδωση, Διύλιση και Απολύμανση
BOD ₅	NS	NS	20 mg/L CBOD ₅	NS	30 mg/L	5 mg/L	30 mg/L
TSS	NS	NS	5 mg/L	NS	NS	NS	30 mg/L
Θολότητα	2 NTU (Avg)	2 NTU (Avg)	NS	2 NTU (Max)	NS	3 NTU	2 NTU (Avg)
	5 NTU (Max)	5 NTU (Max)					5 NTU (Max)
Κολοβακτηριδία	Περιττωματικά (FC)	Ολικά (TC)	Περιττωματικά (FC)	Περιττωματικά (FC)	Περιττωματικά (FC)	Περιττωματικά (FC)	Ολικά (TC)
	Κανένα ανιχνεύσιμο (Avg)	2.2/100 mL (Avg)	75% των δειγμάτων υπό ανίχνευση	2.2/100 mL (Avg)	200/100 mL (Avg)	20/100 mL (Avg)	2.2/100 mL (Avg)
	23/100 mL (Max)	23/100 mL (Max σε 30 ημέρες)	25/100 mL (Max)	23/100 mL (Max σε 30 ημέρες)	400/100 mL (Max)	75/100 mL (Max)	23/100 mL (Max)

NS - δεν ορίζεται από τους Κανονισμούς της Πολιτείας.

Πίνακας 6.2: Γεωργική επαναχρησιμοποίηση-βρώσιμες συγκομιδές (U.S. EPA 2004).

	Αριζόνα	Καλιφόρνια	Φλόριδα	Χαβάη	Νεβάδα	Τέξας	Ουάσιγκτον
Επεξεργασία	Δευτεροβάθμια επεξεργασία και Απολύμανση	Δευτεροβάθμια - 23, Οξείδωση και Απολύμανση	Δευτεροβάθμια επεξεργασία, Διύλιση και Απολύμανση	Οξείδωση, Διύλιση και Απολύμανση	Δευτεροβάθμια επεξεργασία, Απολύμανση	NS (1)	Οξείδωση και Απολύμανση
BOD ₅	NS	NS	20 mg/LCBOD ₅	NS	30 mg/L	5 mg/L	30 mg/L
TSS	NS	NS	20 mg/L	NS	NS	NS	30 mg/L
Θολότητα	NS	NS	NS	2 NTU (Max)	NS	3 NTU	2 NTU (Avg)
							5 NTU (Max)
Κολοβακτηριδία	Περιττωματικά (FC)	Ολικά (TC)	Περιττωματικά (FC)	Περιττωματικά (FC)	Περιττωματικά (FC)	Περιττ. (FC)	Ολικά (TC)
	200/100 mL (Avg)	23/100 mL (Avg)	200/100 mL (Avg)	2.2/100 mL (Avg)	200/100 mL (Avg)	20/100 mL (Avg)	23/100 mL (Avg)
	800/100 mL (Max)	240/100 mL (Max σε 30 ημέρες)	800/100 mL (Max)	23/100 mL (Max)	400/100 mL (Max)	75/100 mL (Max)	240/100 mL (Max)

NS - δεν ορίζεται από τους Κανονισμούς της Πολιτείας.

Πίνακας 6.3: Γεωργική επαναχρησιμοποίηση - μη βρώσιμες συγκομιδές (U.S. EPA, 2004).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας με όλες τις προαναφερθείσες οδηγίες και τις αντίστοιχες μεθόδους επεξεργασίας.

Οδηγία	Περίπτωση επαναχρησιμοποίησης	Ποιότητα	Απαίτηση μεθόδου επεξεργασίας
W.H.O. (1989)	Άρδευση καλλιεργειών με προϊόντα που τρώγονται ωμά, άρδευση γηπέδων και δημοσίων πάρκων	< 1000 FC /100 mL εντερικοί νηματοειδείς <1 egg/L	Σειρά λιμνών οξείδωσης που επιτυγχάνει την απαιτούμενη μικροβιολογική ποιότητα, ή άλλη ισοδύναμη επεξεργασία
U.S. EPA (2004)	Άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών με καταιονισμό ή επιφανειακά, πάρκων, παιδικών χαρών, τεχνητές λίμνες αναψυχής	0 FC /100 mL θολότητα ≤ 2 NTU BOD ≤ 10 mg / L pH 6-9 υπολειμματικό Cl ₂ ≥1 mg / L	Δευτεροβάθμια και Απολύμανση
California (2000)	Επιφανειακή άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών, πάρκων, παιδικών χαρών, τεχνητές λίμνες αναψυχής	< 2.2 TC/100 mL (μέσος όρος τις τελευταίες 7 ημέρες) ≤ 23 TC / 100 mL ≤ 2NTU(σε 24 ώρες) ≤ 5 NTU (max)	Τριτοβάθμια (Οξείδωση, Κροκίδωση, Καθίζηση, Διύλιση) και Απολύμανση

FC: Περιττωματικά κολοβακτηρίδια, TC: Ολικά κολοβακτηρίδια

Πίνακας 6.4: Συγκριτικά στοιχεία κανονισμών διεθνώς(Τασούλα Α., 2009).

Ο κάθε κανονισμός αναπτύσσεται με γνώμονα ορισμένα κριτήρια, διαφορετικά για τον καθένα. Η Οδηγία του W.H.O.(W.H.O., 1989), βασίζεται κυρίως σε ρεαλιστικά σενάρια για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων σε αρδευόμενες καλλιέργειες, λαμβάνοντας υπ' όψη τις αναπτυσσόμενες χώρες και δίνοντας ιδιαίτερη σημασία στο είδος των καλλιεργειών. Ο κανονισμός της Καλιφόρνια κινείται με γνώμονα την ανθρώπινη έκθεση στα επεξεργασμένα λύματα και γι' αυτό το λόγο είναι ο πιο αυστηρός και με τις πιο δαπανηρές διαδικασίες επεξεργασίας(τριτοβάθμια επεξεργασία). Οι οδηγίες της U.S. EPA βασίζονται στην εμπειρία και σε άλλες ήδη υπάρχουσες πειραματικές μελέτες σε άλλες πολιτείες της ΗΠΑ. Γενικά όμως σε κάθε κανονισμό απαραίτητη προϋπόθεση για την επεξεργασία λυμάτων είναι ο σωστός σχεδιασμός ώστε να αποφευχθούν οι αρνητικές επιπτώσεις τόσο στην υγεία των πολιτών όσο και στο περιβάλλον.

Στη λεκάνη απορροής του Αλμυρού, η επαναχρησιμοποίηση των αστικών λυμάτων θα μπορούσε με την εφαρμογή των κανόνων αυτών να χρησιμοποιηθεί για άρδευση μη βρώσιμων καλλιεργειών είτε αστική επαναχρησιμοποίηση εξαιρουμένης της πόσης. Βασικό κίνητρο για την επαναχρησιμοποίηση των αστικών λυμάτων αποτελεί και το γεγονός ότι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τον εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα, ο οποίος αντιμετωπίζει έντονα το πρόβλημα της υποτίμησης λόγω υπεράντλησης για την κάλυψη των υδατικών αναγκών, αλλά μπορεί να αυξήσει

ταυτόχρονα και τη στάθμη του υπόγειου γλυκού νερού η οποία μειώνεται συνεχώς λόγω του προβλήματος της υφαλμύρωσης. Με αυτόν τον τρόπο τα υφάλμυρα νερά που μέχρι τώρα ήταν ακατάλληλα για χρήση μπορούμε να τα εκμεταλλευτούμε για την κάλυψη της ζήτησης στην περιοχή μας.

6.3. Το πρόβλημα της υφαλμύρινσης στη λεκάνη απορροής του Αλμυρού

Όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενες ενότητες το κύριο μέρος του πλανήτη αποτελείται από αλμυρό νερό ενώ τα αποθέματα γλυκού νερού συνεχώς μειώνονται. Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης είναι στην ουσία η διείσδυση του θαλασσινού νερού στα υπόγεια υδροφόρα σώματα και παρατηρείται στις παράκτιες περιοχές. Το φαινόμενο αυτό εντείνεται από διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, με κύρια την υπεράντληση των υδάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της στάθμης του γλυκού νερού η οποία έχει καθοριστικές επιπτώσεις στην άρδευση και την αγροτική παραγωγή. Η ραγδαία αύξηση των κλιματικών αλλαγών τα τελευταία χρόνια (περιορισμός βροχοπτώσεων και αύξηση της θερμοκρασίας), συντελεί στην ενίσχυση του προβλήματος μέσω της μείωσης του φυσικού εμπλουτισμού των υπογείων νερών, φυσική έκπλυση των αλάτων και την αύξηση των απωλειών νερού από τα εδάφη λόγω εξάτμισης.

Η υφαλμύρωση παρατηρείται έντονα και στη λεκάνη απορροής που μελετάμε, καθώς ως παράκτια περιοχή το θαλασσινό νερό εισέρχεται στον υπόγειο υδροφόρο. Ταυτόχρονα το πρόβλημα αυτό εντείνεται εξ' αιτίας της έλλειψης οργανισμού επιφανειακών υδάτων και οργανωμένου αρδευτικού δικτύου, με αποτέλεσμα την πτώση της στάθμης του υπόγειου νερού καθώς όλες οι ανάγκες εξυπηρετούνται από αυτό. Το νερό αυτό καθίσταται αυτόματα ακατάλληλο για πόση αλλά και για άρδευση καλλιεργειών. Παρ' όλα αυτά οι συνεχόμενες εξελίξεις στον τομέα της τεχνολογίας και της βιοτεχνολογίας έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη συμβατικών και καινοτόμων μεθόδων βελτίωσης των υποβαθμισμένων με άλατα εδαφών, ώστε ένα μέρος των υπόγειων αυτών υδάτων να μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπό προϋποθέσεις.

Το έδαφος, στην περιοχή μελέτης μας, που δημιουργήθηκε λόγω κίνησης των τεκτονικών πλακών αποτελείται σε μεγάλο μέρος του από τεταρτογενή ιζήματα και κρυσταλοσχιστώδη και ανθρακικά πετρώματα. Στο γλυκό νερό της περιοχής, συναντήθηκαν ως επικρατέστερα ιόντα το Ca και το HCO_3 (νερό οξυανθρακικό ασβεστούχο) εξ' αιτίας του διαλυμένου ασβεστίτη, ενώ στο θαλασσινό νερό κυριαρχούν τα κατιόντα Na και τα ανιόντα Cl . Από τη λήψη δειγμάτων από τα υδροσημεία της λεκάνης απορροής μας, όπως είδαμε και παραπάνω, βρέθηκαν σε αρκετά, υψηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου, νατρίου και χλωρίου, και κυρίως στα παράκτια τμήματα, γεγονός που εξηγεί την εισροή θαλασσινού νερού στον υπόγειο υδροφόρο. Ωστόσο στο βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής και συγκεκριμένα στην περιοχή της Ευξεινούπολης σε γεωτρήσεις που δεν είναι κοντά στο παράκτιο τμήμα, ενώ εντοπίζονται αρνητικές πιεζομετρικές στάθμες δεν παρουσιάζονται υψηλές τιμές ιόντων χλωρίου. Το γεγονός αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από την παρουσία αργιλικών στρωμάτων (λόγω λιθολογικής σύστασης της περιοχής), τα οποία λόγω

συνεχών μεταπτώσεων και ρηγματώσεων δεν επιτρέπουν τη διείσδυση του θαλασσινού νερού στους υπόγειους υδροφορείς.

6.4. Μέθοδοι βελτίωσης αλατούχων εδαφών

Ιδιαίτερα χρήσιμη φαίνεται να είναι η ανάπτυξη καινοτόμων μεθόδων για τη βελτίωση των αλατούχων εδαφών, ώστε να καθίστανται τα υπόγεια ύδατα κατάλληλα για χρήση. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται κάποιες χρήσιμες μέθοδοι για τη διαχείριση των αλατούχων εδαφών, οι οποίες αναλύονται στην συνέχεια.

Μέθοδος	Κόστος	Απόδοση	Επιπτώσεις	Ενδιαφέρον
Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα	+	+++	+	+
Βιο-αποστράγγιση	++	+	0	+
Θεραπεία με μύκητες	+++	++	+	++++
Θεραπεία με κατάλληλα φυτά	+++	+	0	+
Αυτόματος έλεγχος των αρδεύσεων	++++	++++	0	++++
Χρήση γενετικά τροποποιημένων φυτών	+++	++++	++++	+

Πίνακας 6.5: Αξιολόγηση καινοτόμων μεθόδων διαχείρισης αλατούχων εδαφών (Διαμαντής B. et al., 2009).

Στον παραπάνω πίνακα οι συμβολισμοί μεταφράζονται ως εξής:

(*): προϋποθέτει την κατασκευή κατάλληλης μονάδας καθαρισμού και δικτύου μεταφοράς.

(0): χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

(+): χαμηλές επιπτώσεις, κόστος, απόδοση, ενδιαφέρον.

(++++): σημαντικές επιπτώσεις, υψηλό κόστος/απόδοση/ενδιαφέρον.

1. Άρδευση με επεξεργασμένα απόβλητα:

Όπως είδαμε και παραπάνω μια σημαντική καινοτόμος λύση στον τομέα της άρδευσης θα μπορούσε να είναι η επεξεργασία και η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων. Απαιτούνται αυστηροί κανονισμοί οι οποίοι έχουν αναλυθεί ωστόσο όπως παρατηρούμε και από τον πίνακα για την κατασκευή κατάλληλης μονάδας καθαρισμού και δικτύου μεταφοράς είναι ιδιαίτερα υψηλό ενώ απαιτούνται και μεγάλες χρονικές περίοδοι υλοποίησης. Σε μονάδες ενεργού ιλύος η επεξεργασία κοστίζει περίπου 0,3-0,6 € ανά m³ νερού (Van Haandel and van der Lubbe, 2007). Η χρήση φυσικών συστημάτων επεξεργασίας φαίνεται να αποτελεί μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση, αφού συνδυάζει υψηλό βαθμό καθαρισμού με χαμηλό λειτουργικό και επενδυτικό κόστος, με προϋπόθεση όμως τη διαθεσιμότητα εκτάσεων γης και τροπικές κλιματικές συνθήκες για τη βέλτιστη χρήση (Διαμαντής B. et al., 2009). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ξανά ότι η περίπτωση μη ορθής υλοποίησής της μπορεί να προκαλέσει σε χαμηλό βαθμό κοινωνικές και περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις.

2. Βιο-αποστράγγιση:

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την καλλιέργεια κατάλληλων φυτών ανθεκτικών στα άλατα, με σκοπό την κατανάλωση νερού μέσω εξατμισοδιαπνοής και στη συνέχεια τη μείωση στάθμης υπόγειου νερού. Τα φυτά αυτά μπορούν να καλλιεργηθούν σε

εγκαταλελειμμένες εκτάσεις, πλησίον των αρδευόμενων. Η βιολογική αποστράγγιση έχει εξεταστεί στην επαρχία της Κίνας Xingjian με σκοπό τον έλεγχο της στάθμης των υπογείων νερών (Zao et al., 2004) και τον περιορισμό της δευτερογενούς αλάτωσης των εδαφών. Χρησιμοποιήθηκαν τα είδη *Lycium Barbarum* και *Puccinellia Chinampronsis*, τα οποία παρατηρήθηκε ότι μπορούν να καταναλώσουν μεγάλες ποσότητες νερού χωρίς τα διαλυμένα άλατα προκαλώντας ταυτόχρονα μείωση της στάθμης του υπόγειου νερού. Αντίστοιχα εφαρμόστηκε αυτή η μέθοδος με τη χρήση του φυτού *Eucalyptus tereticornis* και παρατηρήθηκε έντονη μείωση της στάθμης του υπόγειου νερού. Η μέθοδος αυτή ενώ δε φαίνεται να προκαλεί περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις, η απόδοσή της παρουσιάζεται χαμηλή και το κόστος προμήθειάς της υψηλότερο σε σχέση με την προηγούμενη.

3. Θεραπεία με μύκητες:

Η χρήση των μυκήτων έδειξε ότι μπορεί να προκαλέσει αύξηση της παραγωγής υπό υφάλμυρες συνθήκες. Οι μύκητες *Arbuscular mycorrhizal* (AM) είναι οι μόνοι που συναντώνται στο έδαφος και ο εμβολιασμός φυτών με αυτούς οδηγεί στη βελτιωμένη ανάπτυξή τους, η οποία μπορεί να οφείλεται στην παραλαβή θρεπτικών (όπως ο φώσφορος, ο ψευδάργυρος, ο χαλκός και ο σίδηρος), στην αύξηση της συγκέντρωσης υδατανθράκων και αμινοξέων στο ριζικό σύστημα, όπως και στην περιορισμένη παραλαβή του (τοξικού) νατρίου. Σε περιπτώσεις υψηλών συγκεντρώσεων αλάτων ωστόσο η ανάπτυξή τους μπορεί να περιοριστεί (Διαμαντής B. et al., 2009). Έχει βέβαια αναφερθεί και η δυνατότητα καλλιέργειας μυκήτων ανθεκτικών σε υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων μέσω εγκλιματισμού (acclimation) (Sharifi et al., 2007). Μελέτη με τον μύκητα *Glomus etunicatum* έδειξε αύξηση της παραγωγής σόγιας κατά 40-50% σε υφάλμυρες συνθήκες (συγκεντρώσεις NaCl έως 100 mM) (Sharifi et al., 2007). Σε άλλη εργασία ο μύκητας *Glomus mossae* οδήγησε σε αύξηση της παραγωγής τομάτας κατά 60% υπό συνθήκες υφάλμυρες (ηλεκτρική αγωγιμότητα νερού άρδευσης 2,4 mS/cm και εδάφους 4,4 mS/cm) συγκριτικά με καλλιέργεια χωρίς τη χρήση μύκητα (Al-Karakī, 2006). Αν και η θεραπεία με μύκητες φαίνεται να έχει ευεργετική δράση στις καλλιέργειες με υφάλμυρα εδάφη, δεν έχουμε επαρκή στοιχεία για το κόστος τους, ωστόσο αναμένεται ιδιαιτέρως υψηλό.

4. Θεραπεία με κατάλληλα φυτά:

Η φυτοεξυγίανση βασίζεται στο σκεπτικό της σποράς μιας καλλιέργειας ικανής να απορροφήσει άλατα και νιτρικά ιόντα από το έδαφος. Τα καλλιεργούμενα φυτά αυτά δρουν εναλλάσσοντας το διαλυτό ασβέστιο που υπάρχει στο έδαφος με νάτριο. Οι καλλιέργειες αυτές μπορεί να είναι εμπορικά φυτά (τριφύλλι) τα οποία ήδη χρησιμοποιούνται από τους παραγωγούς ή άλλα φυτά ανθεκτικά στα άλατα (αλοφυτική βλάστηση). Αν και η χρήση φυτών για την εξυγίανση είναι φιλική προς το περιβάλλον απαιτούνται μεγάλες χρονικές περίοδοι για την επίτευξη του επιθυμητού βαθμού βελτίωσης (Qadir et al., 2005).

5. Αυτόματος έλεγχος αρδεύσεων:

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην εγκατάσταση συστημάτων παρακολούθησης της υγρασίας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, με σκοπό την έγκαιρη ενημέρωση των παραγωγών σε περίπτωση που η αγωγιμότητα ξεπεράσει τα ανώτατα

όρια ή η υγρασία μειωθεί σε σημείο επικίνδυνο για τις καλλιέργειες. Η μέθοδος αυτή πρόληψης στην ουσία μπορεί να συμβάλει σε βελτίωση παθογενών εδαφών, διαφύλαξη παραγωγικών εδαφών καθώς και σε εξοικονόμηση νερού. Παρ' όλα αυτά το κόστος αναμένεται υψηλότερο από ό,τι έχουμε συναντήσει σε προηγούμενες μεθόδους, αφού το κόστος του εξοπλισμού (αισθητήρες, καταγραφικό και σύστημα τηλεμετάδοσης) μπορεί να ξεπεράσει τα 1000€ ανάλογα με τον κατασκευαστή.

6. Γενετικά τροποποιημένα φυτά:

Η μέθοδος αυτή σύμφωνα με μελέτες έχει παρουσιάσει εντυπωσιακά αποτελέσματα. Παρ' όλα αυτά οι καλλιεργητές δεν την προτιμούν εξ' αιτίας των πιθανών επιδράσεων που μπορεί να έχουν στον άνθρωπο, τα ζώα αλλά και σε γειτονικές καλλιέργειες ή στη μεταβίβαση των ιδιοτήτων τους σε άλλα είδη φυτών/ζιζανίων. Η ομάδα των Xue et al. (2004) μετέτρεψαν σιτηρά ώστε να είναι ανθεκτικά στα άλατα. Η χρήση των τροποποιημένων αυτών φυτών στην ύπαιθρο έδειξε ότι το μέγεθος του σιταριού ήταν μεγαλύτερο και βαρύτερο και η παραγωγή υψηλότερη σε συνθήκες ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους μεταξύ 10-13 mS/cm (στο εκχύλισμα κορεσμού) (Διαμαντής B. et al., 2009). Η αποδοτική παραγωγή γενετικά τροποποιημένης τομάτας (Zhang and Blumwald, 2001) και ρυζιού (Rus et al., 2005) έχουν επίσης αναφερθεί. Ενώ ακριβώς το κόστος σποράς αυτών των φυτών δεν έχει υπολογιστεί, η εφαρμογή αυτής της μεθόδου αναμένεται ιδιαίτερα ακριβή.

Για τη μελετώμενη λεκάνη απορροής αντιλαμβανόμαστε ότι η μέθοδος της βιολογικής αποστράγγισης δε θα ήταν η προτιμότερη καθώς οδηγεί σε μείωση της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα, η οποία στην περίπτωση μας λόγω υπεράντλησης είναι ήδη χαμηλή. Η χρήση γενετικά τροποποιημένων φυτών αντίστοιχα ενώ θα μπορούσε ως σύγχρονη λύση να είναι από τις πιο αποτελεσματικές, η άγνοια και η επικινδυνότητα που κρύβει όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις δεν την καθιστούν ιδανική. Η χρήση συστημάτων παρακολούθησης της υγρασίας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους αποτελεί μια σημαντική βοήθεια για την αποφυγή συσσώρευσης απαγορευτικών ποσοτήτων αλάτων στο έδαφος. Η πιο συμφέρουσα οικονομικά και αποτελεσματική πρόταση ταυτόχρονα φαίνεται να είναι ο εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα είτε η άμεση χρήση τους για την κάλυψη υδατικών αναγκών, με προϋπόθεση όμως τη σωστή εγκατάσταση μονάδων επεξεργασίας ώστε να αποφευχθούν τυχόν περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις.

Τα αστικά λύματα με κατάλληλη επεξεργασία (τουλάχιστον δευτεροβάθμια, δίχως λαμβάνοντας υπ' όψη την άμεση ανθρώπινη χρήση) και απορρύπανση μπορούν να αναδιατεθούν στην προσφερόμενη ποσότητα νερού μειώνοντας με αυτό τον τρόπο το έλλειμα του υδατικού ισοζυγίου και το πλήρες κόστος νερού. Αναλυτικότερα στη γεωργική χρήση μη βρώσιμων συγκομιδών για την περιοχή του Αλμυρού ανήκουν οι καλλιέργειες της μηδικής, βαμβακιού, τα δενδρώδη και τα κηπευτικά στρέμματα. Οι συγκεκριμένες καλλιέργειες θα μπορούν να καλύψουν τις υδατικές τους ανάγκες από το επεξεργασμένο υφάλμυρο νερό. Κατανέμοντας την ποσότητα αυτή σε κάθε είδος καλλιέργειας εκτιμήθηκε το κόστος νερού που θα μπορούσαμε να αποφύγουμε και να μη συμπεριληφθεί στο συνολικό. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το κόστος αυτό για κάθε διαχειριστικό σενάριο.

Διαχειριστικά Σενάρια	Κόστος από την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υφάλμυρων υδάτων(εκ.€)
Σενάριο 1	0,637
Σενάριο 2	0,371
Σενάριο 3	0,533
Σενάριο 4	0,588

Πίνακας 6.6: Κόστος που προκύπτει από την κάλυψη των αναγκών των καλλιεργειών από τα υφάλμυρα ύδατα.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Τα τελευταία χρόνια η αύξηση του πληθυσμού παγκοσμίως, έχει οδηγήσει σε αύξηση της χρήσης του νερού και υπερεκμετάλλευση των διαθέσιμων υδατικών πόρων. Το νερό ως ένα αγαθό πλέον με περιορισμένη διαθεσιμότητα αποτελεί ένα βασικό πρόβλημα της σύγχρονης κοινωνίας και συγκεκριμένα του επιστημονικού κλάδου της Διαχείρισης Υδατικών Πόρων. Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει μεθόδους και τεχνικές που στοχεύουν στην ορθολογική αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού ώστε να προκύψει η μέγιστη δυνατή κάλυψη αναγκών σε νερό. Όλες οι προτεινόμενες μέθοδοι κινούνται γύρω από έναν κύριο άξονα ο οποίος αντιμετωπίζει το νερό ως οικονομικό αγαθό. Με αυτόν τον τρόπο ξεκίνησε η χρήση οικονομικών εργαλείων μέσω κοστολόγησης και τιμολόγησης του καταναλισκόμενου νερού, καθώς αποτελεί το πιο εύκολο και αποτελεσματικά εφαρμόσιμο μέτρο ικανό να στηρίξει την κάθε πρακτική διαχείρισης.

Βασικό πρόβλημα αποτελεί ωστόσο ο προσδιορισμός της πλήρους οικονομικής αξίας του νερού. Κάθε Κράτος-μέλος, σύμφωνα με τις επιταγές της Ευρωπαϊκής οδηγίας 2000/60, έχει το δικαίωμα να αναπτύξει δικές του μεθόδους κοστολόγησης του νερού σύμφωνα με την πλήρη αξία του. Στην Ελλάδα το πλήρες κόστος νερού ύδρευσης και άρδευσης, σύμφωνα με την ΟΠΥ 2000/60 αναμενόταν να εφαρμοστεί τον Ιούνιο του 2018. Μέχρι τώρα δεν έχει γίνει κοινώς αποδεκτή καμία μεθοδολογία υπολογισμού από τα αρμόδια υπουργεία, κυρίως εξαιτίας του αγροτικού τομέα που αποτελεί και τον μεγαλύτερο καταναλωτή, καθώς δεν υπάρχει επαρκής διαχειριστικός έλεγχος και υπάρχει μεγάλη δυσκολία στην εφαρμογή διαχειριστικών μέτρων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε αρχικά μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης το πρόβλημα της λειψυδρίας και το πλήρες κόστους νερού ως αντικείμενο υδρο-οικονομικής μοντελοποίησης. Για τη μελέτη αυτή επιλέχθηκε η λεκάνη απορροής του Αλμυρού, στην οποία υπολογίστηκε κάθε συνιστώσα του πλήρους κόστους νερού με βάση τις υδατικές ανάγκες των κατοίκων της περιοχής. Το σύστημα εξετάστηκε υπό μια σειρά διαχειριστικών σεναρίων, τα οποία δημιουργήθηκαν με βάση τη μείωση του πλήρους κόστους νερού υπό την βέλτιστη όμως κάλυψη της συνολικής ζήτησης νερού.

Η λεκάνη του Αλμυρού έχει έκταση 849,77 km² και περίμετρο 173,078 km. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από την ταπείνωση της στάθμης του υπόγειου νερού, που οφείλεται στην υπεράντληση των υδατικών αποθεμάτων και στην έλλειψη επαρκών ποσοτήτων γλυκού νερού για την τροφοδότηση των υπόγειων συστημάτων της περιοχής. Όντας παράκτια περιοχή παρατηρείται κυρίως τα τελευταία χρόνια διείσδυση του θαλασσινού νερού στον υπόγειο υδροφόρα. Οι υδατικές ανάγκες της λεκάνης αυτής αποτελούνται κυρίως από τον αγροτικό τομέα και δευτερευόντως από τις αστικές απαιτήσεις. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι λόγω της απουσίας επιφανειακών υδάτων και συνεπώς Τοπικού Οργανισμού Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ), οι χρεώσεις των γεωτρήσεων

γίνονται από αγροτικούς συνεταιρισμούς οι οποίοι υποβαθμίζουν την αξία του νερού και δεν έχουν κανένα κίνητρο εξοικονόμησής του.

Ουσιαστικά στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν αρχικά τα αποτελέσματα από το υδρολογικό μοντέλο UTHBAL, σύμφωνα με την εργασία της Γεωργιάδου(2015), δηλαδή η κατείδσδυση και η επαναφόρτιση των υπόγειων υδάτων. Τα αποτελέσματα αυτά αξιοποιήθηκαν για την εκτίμηση της προσφοράς του νερού για την κάλυψη των υδατικών αναγκών. Τα αποτελέσματα του μοντέλου και κατά συνέπεια η ποσότητα διαθέσιμου νερού, αναπτύχθηκαν σε μηνιαία βάση για την περίοδο Οκτώβριος 1960-Σεπτέμβριος 2002. Κατόπιν έγινε εκτίμηση των αγροτικών αναγκών με βάση την κατανομή καλλιεργειών του 2009 και της αστικής ζήτησης με βάση την κατανομή του πληθυσμού το 2011 και υπολογίστηκε εν τέλει το υδρολογικό ισοζύγιο.

Με βάση τα παραπάνω έγινε εκτίμηση των συνιστωσών του πλήρους κόστους νερού. Συγκεκριμένα υπολογίστηκε το κόστος φυσικού πόρου και το περιβαλλοντικό κόστος αφού το χρηματοοικονομικό κόστος είναι μηδενικό λόγω απουσίας επιφανειακών υδάτων.

Τέλος έγινε παρουσίαση μεθόδων αξιοποίησης των υφάλμυρων νερών της λεκάνης απορροής του Αλμυρού. Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στην επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση των αστικών λυμάτων για άρδευση, καθώς αποτελεί μια μέθοδο για την οποία έχουν αναπτυχθεί διάφοροι κανονισμοί παγκοσμίως προκειμένου να γίνει ευρέως αποδεκτή και εφαρμόσιμη, ώστε να αποφευχθούν τυχόν επιβλαβείς για το περιβάλλον συνέπειες.

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση του πλήρους κόστους νερού επέφερε σημαντικές καινοτομίες, μία από τις οποίες είναι η αντιστοίχιση του κόστους φυσικού πόρου με τη ζημία λόγω σπανιότητας νερού και του περιβαλλοντικού κόστους με τη ζημία λόγω ποιοτικής υποβάθμισης, γεγονός που αποτελεί σημαντική βοήθεια για την απλοποίηση αυτών των εννοιών. Ουσιαστικά η μεθοδολογία που ακολουθείται αποτελεί μια ολοκληρωμένη παρακολούθηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της λεκάνης απορροής, αφού συνδυάζει την οικονομική διάσταση με την υδρολογική και χημική κατάσταση των υδάτων. Σημαντική καινοτομία αυτής της μεθόδου είναι και ο διαχωρισμός των υπολογισμών του περιβαλλοντικού κόστους και του κόστους πόρου με τρόπο τέτοιο ώστε να αποφεύγεται ο διπλο-υπολογισμός τους αλλά ταυτόχρονα να συνδέονται οι δύο αυτές έννοιες. Βασικό πλεονέκτημα της έρευνας αυτής είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί για επιφανειακά και υπόγεια ύδατα με την ίδια ακρίβεια αλλά και σε διαφορετικές περιοχές μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο για τον ΤΟΕΒ ή ΔΕΥΑ της εκάστοτε λεκάνης απορροής.

Συμπερασματικά από την ανάλυση και την επεξεργασία όλων των παραπάνω επιβεβαιώνεται η αξιοπιστία της μεθόδου που αναπτύχθηκε στη διδακτορική εργασία του Αλαμάνου(2019) και το γεγονός ότι μπορεί να επεκταθεί η εφαρμογή της και σε άλλες λεκάνες απορροής. Επιπρόσθετα καταλήξαμε στο γεγονός ότι είναι απαραίτητη η εφαρμογή εκσυγχρονισμένων πολιτικών διαχείρισης. Αρχικά προτείνεται η εφαρμογή νέων μέτρων που αποβλέπουν στην ορθή διαχείριση της ζήτησης του νερού και όχι της προσφοράς, όπως γινόταν μέχρι πρότινος. Αυτό εφαρμόζεται μέσω των διαχειριστικών σεναρίων που υποδεικνύουν μείωση απωλειών μεταφοράς του δικτύου ύδρευσης, αντικατάσταση των υφιστάμενων μεθόδων άρδευσης με αποτελεσματικότερες(στάγδην

άρδευση) και καλύτερη κατανομή καλλιεργειών. Αυτά τα μέτρα διαχείρισης της ζήτησης στοχεύουν στη μέγιστη δυνατή απόδοση με εξοικονόμηση των υδάτινων πόρων.

Επιπλέον κρίνεται απαραίτητη μια νέα εφαρμογή οικονομικών μέτρων για τη διαχείριση των υδατικών πόρων, όπως μια καινοτόμος μέθοδος τιμολόγησης της αξίας του νερού που να στοχεύει στην εξοικονόμησή του. Λόγω της ελαστικής ζήτησης του αγροτικού νερού, η εφαρμογή κατάλληλης τιμολογιακής πολιτικής μπορεί να πετύχει σημαντική μείωση στα επίπεδα κατανάλωσης και επομένως εξοικονόμηση νερού (Giannakis et al., 2016). Η εφαρμογή των νέων μέτρων τιμολόγησης διαφέρει σε κάθε περιοχή ανάλογα με τις ιδιαιτερότητές της.

Η εφαρμογή του πλήρους κόστους νερού, δηλαδή η εισαγωγή του κόστους πόρων και του περιβαλλοντικού στην αξία του νερού, έχει σκοπό τον περιορισμό της ρύπανσης σε κάποιο οικονομικό επίπεδο. Καθώς με εισαγωγή αυτών των εννοιών στην κοστολόγηση αυξάνεται η φορολόγηση ανά μονάδα περιβαλλοντικής υποβάθμισης, οδηγείται ο ρυπαίνων σε μια καλύτερη συμπεριφορά στη διαχείριση ώστε να αποφύγει τον επιπλέον φόρο. Η προσαρμογή των οικονομικών εργαλείων στην κατεύθυνση της εξοικονόμησης νερού θα πρέπει να επιτυγχάνει πολλαπλούς στόχους, όπως τη μείωση της ζήτησης, την κοινωνική αποδοχή, να είναι εφαρμόσιμη και να αποφέρει τα αναμενόμενα έσοδα στην επιχείρηση για να προβεί σε βελτίωση των υπηρεσιών της, και να διασφαλίζει κατά το δυνατόν την ισότητα στην κατανομή των πόρων (Καρβούνης και Γεωργακέλλος, 2003). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η ΟΠΥ δεν αποκλείει την εφαρμογή επιδοτήσεων στη χρήση του πόρου, σε περίπτωση που το σύστημα των φόρων προκαλέσει έντονες αντιδράσεις. Με αυτόν τον τρόπο το αποτέλεσμα παραμένει το ίδιο σε σχέση με την επιβολή της φορολογίας, η επιδότηση ωστόσο παρουσιάζεται ελκυστικότερη και προσελκύει περισσότερους χρήστες αυξάνοντας έτσι την υποβάθμιση.

Τέλος απαραίτητη κρίνεται και η εφαρμογή μέτρων παρακολούθησης της ποιότητας και της ποσότητας των αποθεμάτων του νερού και συγκεκριμένα του υπόγειου νερού που αποτελεί και τη μοναδική πηγή για την κάλυψη των αναγκών. Η εισροή του θαλασσινού νερού στα αποθέματα του υπόγειου υδροφορέα και η υποτίμησή του λόγω υπεράντλησης έχει δημιουργήσει την ανάγκη για εύρεση νέων τεχνικών επαναχρησιμοποίησης των υφάλμυρων υδάτων. Μεταξύ άλλων μεθόδων μεγάλο ενδιαφέρον παγκοσμίως παρουσιάζει η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων η οποία με σωστή επεξεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο άμεσα για την κάλυψη συγκεκριμένων αναγκών της λεκάνης απορροής όσο και έμμεσα με τεχνητό εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα. Η μείωση του συνολικού κόστους λόγω αυτής της επαναχρησιμοποίησης αποτελεί σημαντικό κίνητρο για επιπλέον έρευνα και εύρεση ή τελειοποίηση κατάλληλων τεχνικών.

Η εφαρμογή του υδρο-οικονομικού αυτού μοντέλου στη λεκάνη απορροής του Αλμυρού μπορεί να αποτελέσει το κίνητρο για την ανάπτυξη νέων τεχνικών αλλά και για περεταίρω λεπτομερή έρευνα σε πρακτικό ή θεωρητικό επίπεδο στην ίδια ή και διαφορετική λεκάνη απορροής. Προτείνεται:

1. Η εφαρμογή του ίδιου υδρο-οικονομικού μοντέλου και σε άλλες λεκάνες απορροής, που ίσως να έχουν και περισσότερες χρήσεις νερού οπότε θα προκύψει μια πιο ολοκληρωμένη άποψη.
2. Διερεύνηση στην παρούσα ή και σε διαφορετική λεκάνη απορροής μιας πιθανής ορθής πολιτικής τιμολόγησης και των επιπτώσεων που πρόκειται να προκαλέσει στο πλήρες κόστος νερού και στο κέρδος από την αγροτική εκμετάλλευση.
3. Ανάπτυξη περισσότερων διαχειριστικών σεναρίων στην παρούσα ανάλυση, που μπορούν να αξιολογηθούν και μέσω του μοντέλου Πολυκριτηριακής Ανάλυσης(Αλαμάνος Α., 2019).
4. Εφαρμογή συστημάτων παρακολούθησης της ποιότητας και της ποσότητας νερού στον υπόγειο υδροφόρα.
5. Εφαρμογή στην λεκάνη απορροής του Αλμυρού ή και σε διαφορετική παράκτια περιοχή των προτεινόμενων μεθόδων αλατούχων εδαφών και παρακολούθηση των επιδράσεων αυτής της εφαρμογής στο υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης.
6. Επιπλέον έρευνα και εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων σε διάφορους τομείς χρήσεων νερού(π.χ. αγροτική, αστική) αλλά και για τεχνητό εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφόρα.

Η εξέταση των παραπάνω τεχνικών μπορεί να επιφέρει σημαντικές καινοτομίες στη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων, που φαίνονται ελπιδοφόρες για την επίλυση αρκετών προβλημάτων. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε εν τέλει για την κοστολόγηση του αρδευτικού και υδρευτικού νερού αποτελεί μια σωστή υδρο-οικονομική διαχείριση. Σε συνδυασμό με μια ορθή τιμολόγηση του νερού άρδευσης, ώστε να επιτυγχάνεται η διαχείριση και προστασία των υδατικών αποθεμάτων και όχι το μέγιστο κέρδος των αγροτών, μπορεί να αποτελέσει τη βάση για μια ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αλαμάνος Α. (2019). *Ολοκληρωμένο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για τη βιώσιμη διαχείριση υδατικών πόρων, μέσω υδρο-οικονομικής μοντελοποίησης και πολυκριτηριακής ανάλυσης*. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 07/02/2019.
- Αλαμάνος Α. (2017). *Βιώσιμη Διαχείριση Υδατικών Πόρων στη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας: Ανάπτυξη Ολοκληρωμένου Συστήματος Λήψης Αποφάσεων μέσω ενιαίου Υδρο-οικονομικού μοντέλου και Πολυκριτηριακής Ανάλυσης*. 5η Ημερίδα Ερευνητικής Δραστηριότητας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Βόλος, 17/05/2017.
- Αλαμάνος Α. (2018). *Μεθοδολογικό πλαίσιο εκτίμησης του πλήρους κόστους αρδευτικού νερού*. 6η Ημερίδα ερευνητικής δραστηριότητας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Βόλος, 30/05/2018.
- Βασιλειάδης, Λ. (2017). *Σημειώσεις Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Υδραυλικός Τομέας και Περιβάλλον*. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
- Γαλανάκης Δ., (1997). *Νεοτεκτονική δομή και στρωματογραφία των Νεογενών Τεταρτογενών ιζημάτων της λεκάνης του Αλμυρού-Παγασητικού, Πηλίου, Διαυλου Ωρεων-Τρικεριού και Μαλιακού*. Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη
- Γεωργιάδου (2015). *Προσομοίωση και διαχείριση υπόγειου υδροφορέα στη λεκάνη απορροής του Αλμυρού, Μαγνησίας*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
- Διαμαντής Β., Γκιουγκής Ι., Καλλιώρας Α., Πλιάκας Φ., Διαμαντής Ι. (2009). *Χρήση υφάλμυρων νερών και βελτίωση αλατούχων εδαφών*. Πρακτικά κοινού συνεδρίου ΕΥΕ και ΕΕΔΥΠ με θέμα: Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων σε συνθήκες κλιματικών αλλαγών, 27-30 Μαΐου 2009, σελ. 313-320.
- Ε.Σ.Υ.Ε. (2001): Στοιχεία της Απογραφής Πληθυσμού 2001.
- Καλιαμπάκος, Δ. & Δαμίγος, Δ. (2008). *Οικονομικά του περιβάλλοντος και Υδατικών Πόρων: Βασικές αρχές, μέθοδοι αποτίμησης, εφαρμογές*. Σημειώσεις μαθήματος, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Καρβούνης, Σ. & Γεωργακέλλος, Δ. (2003). *Διαχείριση του περιβάλλοντος, Επιχειρήσεις και βιώσιμη ανάπτυξη*. Αθήνα, Σταμούλη.

- Κουντούρη, Φ. & συνεργάτες (2008). *Εφαρμογή των οικονομικών πτυχών του άρθρου 5 της Κοινοτικής Οδηγίας περί υδάτων 2000/60/EK στην Ελλάδα*. Υπουργείο Χωροταξίας, Περιβάλλοντος και Δημασίων Έργων, Αθήνα. Διαθέσιμο στην url: www2.aueb.gr/users/koundouri/resees/uploads/finalreportarticle5.doc
- Κουτσογιάννης, Δ. (2007). *Σημειώσεις Διαχείρισης Υδατικών Πόρων - Μέρος Ι*. Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2007.
- Κουτσογιάννης, Δ., Ξανθόπουλος, Θ. *Τεχνική Υδρολογία*. ΕΜΠ, Αθήνα 1999.
- Κουτσογιάννης, Δ., και Ι. Τσελέντης. *Σχόλιο για τις προοπτικές ανάπτυξης των υδατικών πόρων στην Ελλάδα σε σχέση με την Κοινοτική Οδηγία-Πλαίσιο για το νερό*. Οδηγία-πλαίσιο για τα νερά - Εναρμόνιση με την ελληνική πραγματικότητα, Πρακτικά, 87-92, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων, Αθήνα, 2002.
- Λατινόπουλος, Δ. (2006). *Εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης για την οικονομική θεώρηση του νερού στη γεωργία, στο πλαίσιο της αειφορικής διαχείρισης των υδατικών πόρων*. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ.
- Μυλόπουλος, Ν. (2006). *Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Διδακτικές σημειώσεις*. Παν. Θεσσαλίας.
- Μυριούνης Χ.,(2008). *Υδρογεωλογική και υδροχημική διερεύνηση των υπόγειων νερών της παράκτιας ζώνης της υδρολογικής λεκάνης Αλμυρού Μαγνησίας*. Διδακτορική διατριβή, Θεσσαλονίκη.
- Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ. (1999). *Οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό*. Εκδόσεις Ζήτη Θεσσαλονίκη.
- Στείρος Σ., Παπαγεωργίου, Σ., (1989). *Ανω Ολοκαινικές μεταβολές της θάλασσας και μερικά συμπεράσματα για την ενεργό τεκτονική της κεντρικής Ελλάδας*. Δ.Ε.Γ.Ε.
- Τασούλα Α. Α. (2009). *Προδιαγραφές επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση*. Πρακτικά κοινού συνεδρίου ΕΥΕ και ΕΕΔΥΠ με θέμα: Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων σε συνθήκες κλιματικών αλλαγών, 27-30 Μαΐου 2009, σελ. 861-869.
- Τσακίρης, Γ. (1995). *Υδατικοί πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία-Εισαγωγή στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων*. Έκδοση «Συμμετρία», Συντονιστής έκδοσης Γ. Τσακίρης, κεφ. 19, σελ. 657-671.
- ΥΠΕΚΑ (2009). *Οικονομική Ανάλυση Χρήσεων Ύδατος και Προσδιορισμός Υφιστάμενου Βαθμού Ανάκτησης Υπηρεσιών Ύδατος στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας*. Κατάρτιση Σχεδίων Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Οδηγίας 2000/60/EK, Κατ' εφαρμογή του Ν. 3199/2003 και του Π.Δ. 51/2007. Αρ.έργου: 2010ΣΕ07580000.
- ΥΠΕΚΑ (2013). *Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας*. Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Αθήνα. Διαθέσιμο στην url: http://dl.dropboxusercontent.com/u/50959275/RBMP_GR08.pdf

- ΥΠΕΚΑ (2017). *1η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (EL08)*. Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Από την Ημερίδα με θέμα: Οικονομική Ανάλυση Χρήσεων Ύδατος και Προσδιορισμός Υφιστάμενου Βαθμού Ανάκτησης Υπηρεσιών Ύδατος στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας. Κατάρτιση Σχεδίων Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Θεσσαλίας. Χατζηγιάννιο Πνευματικό Κέντρο, Λάρισα 26/9/2017. <http://wfdver.ypeka.gr/el/project/consultation-el08-11-1revisioneconomic-analysis-gr/>.
- Φιλότης (2011). *Βάση Δεδομένων για την ελληνική φύση*. Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Διαθέσιμο στην url: <http://filotis.itia.ntua.gr>
- Χατζηλάκου Δ. (2001). *Υδάτινο περιβάλλον και διαχείριση υδατικών πόρων*. Βιώσιμη Ελλάδα και το Μεσογειακό σχέδιο δράσης, Κείμενα Εργασίας του ΕΚΠΑΑ: Εισηγήσεις Ομιλητών στη Συνάντηση Εργασίας του ΕΚΠΑΑ με θέμα “Βιώσιμη Ελλάδα & το Μεσογειακό Σχέδιο Δράσης”, 3.9.2001.
- Χουλιάρη Κ., (2014): *Διαχρονικές μεταβολές στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον στην περιοχή Αλμυρού Μαγνησίας*. Γενεσιουργοί μηχανισμοί εξέλιξης και σχέσεις τους με την αειφορία, Διδακτορική διατριβή, Αθήνα.
- Agudelo, J. I. (2001). *The economic valuation of water: Principles and methods*. Delft: IHE Delft.
- Al-Karaki G.N., 2006. *Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water*. Scientia Horticulturae 109:1-7.
- Bakker, M. & Matsuno, Y. (2001). *A framework for valuing ecological services of irrigation water*. Irrigation and Drainage Systems (15), pp. 99-115.
- Bithas, K. (2011). *Sustainability and externalities: Is the internalization of externalities a sufficient condition for sustainability?*. Ecological Economics 70(10), pp. 1703-1706.
- Blanco-Gutiérrez, I., Varela-Ortega, C., & Purkey, D. R. (2013). *Integrated assessment of policy interventions for promoting sustainable irrigation in semi-arid environments: A hydro-economic modeling approach*. Journal of Environmental Management, 128, 144-160. doi:10.1016/j.jenvman.2013.04.037.
- Booker, J.F. (1995). *Hydrologic and Economic Impacts of Drought Under Alternative Policy Responses*. Journal of American Water Resources Association (31), pp. 889–906. doi: 10.1111/j.1752-1688.1995.tb03409.x.
- Brouwer, R & Hofkes, M (2008). *Integrated hydro-economic modelling: Approaches, key issues and future research directions*. Ecological Economics (66), pp. 16–22. doi: 10.1016/j.ecolecon.2008.02.009.
- Cai, X., Mckinney, D. C., & Lasdon, L. S. (2003). *Integrated Hydrologic-Agronomic-Economic Model for River Basin Management*. Journal of Water Resources

- Planning and Management*. 129(1), 4-17. doi:10.1061/(asce)0733-9496(2003)129:1(4).
- Chohin-Kuper, A., Rieu, T. & Montginoul, M. (2003). *Water policy reforms: pricing water, cost recovery, water demand and impact on agriculture*. Lessons from the Mediterranean experience. Water Pricing Seminar: Agencia Catalana del Agua and World Bank Institute.
- D'Agostino, D. R., Scardigno, A., Lamaddalena, N., & Chami, D. E. (2014). *Sensitivity Analysis of Coupled Hydro-Economic Models: Quantifying Climate Change Uncertainty for Decision-Making*. *Water Resources Management*, 28(12), 4303-4318. doi:10.1007/s11269014-0748-2.
- Dalhuisen, J. M., Florax, R. J., Groot, H. L., & Nijkamp, P. (2003). *Price and Income Elasticities of Residential Water Demand: A Meta-Analysis*. *Land Economics*, 79(2), 292308. doi:10.2307/3146872.
- Dastane, N.G.(1978). *Effective Rainfall in Irrigated Agriculture*. Irrigation and Drainage Paper 25, Food and Agriculture Organisation, Rome, Italy
- Dinar, A. & Letey, J. (1996). *Modeling Economic Management and Policy Issues of Water in Irrigated Agriculture*. Praeger Publishers, Westport, USA.
- Drafting Group ECO 1. *Information Sheet on Assessment of the Recovery of Costs for Water Services for the 2004 River Basin Characterisation Report*. (Art. 9), Working Group 2B, Common Implementation Strategy, 2004.
- Fisher, F.M., Huber-Lee, A., Amir, I., Haddadin, M.J. (2005). *Liquid Assets: An Economic Approach for Water Management and Conflict Resolution in the Middle East and Beyond*. RFF Press.
- Giannakis, E., Bruggeman, A., Djuma, H., Kozyra, J. & Hammer, J. (2016). *Water pricing and irrigation across Europe: opportunities and constraints for adopting irrigation scheduling decision support systems*. *Water Science & Technology: Water Supply*, 16(1). doi: 10.2166/ws.2015.136.
- Gibbons, D.C. (1986). *The Economic Value of Water*. Resources for the Future, Washington, DC.
- Gleick, P.H. (2003). *Global freshwater resources: Soft-path solutions for the 21st century*. *Science*, (302), pp. 1524–1528.
- Griffin, R.C. (2006). *Water Resource Economics: The Analysis of Scarcity, Policies, and Projects*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Harou, J.J. & Lund, J.R. (2008). *Ending groundwater overdraft in hydrologic-economic systems*. *Hydrogeology Journal*, (16), pp. 1039–1055. doi: 10.1007/s10040-008-0300-7.
- Harou, J., Pulido-Velazquez, M., Rosenberg, D.E., Medellín-Azuara, J., Lund, J.R & Howitt R.E. (2009). *Hydro-Economic Models: Concepts, Design, Applications and Future Prospects*. *Journal of Hydrology*, 375(3-4), pp. 627 - 643. doi:10.1016/j.jhydrol.2009.06.037.

- Heinz, I., Pulido-Velazquez, M., Lund, J. R. & Andreu J. (2007). *Hydro-economic modeling in river basin management: Implications and Applications for the European Water Framework Directive*. Water Resources Management 21(7), pp. 1103-1125. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9101-8>.
- Hoekstra, J.M., Boucher, T.M., Ricketts, T.H. & Roberts, C. (2005). *Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection*. Ecological Letters 2005 (8), pp. 23–29. doi:10.1111/j.1461-0248.2004.00686.x.
- Hoffman R.O., Howell T.A., and Solomon K.H. (1990). *Management of Farm Irrigation Systems*. American Society of Agricultural Engineers, Monograph No 9, St. Joseph, U.S.
- Howitt, R. E. (1995). *Positive Mathematical Programming*. American Journal of Agricultural Economics, 77(2), 329. doi:10.2307/1243543.
- Hurd, B.H. & Coonrod, J. (2012). *Hydro-economic consequences of climate change in the upper Rio Grande*. Climate and Resources (53), pp. 103–118. doi: 10.3354/cr01092.
- Jakeman, A., Letcher, R., & Norton, J. (2006). *Ten iterative steps in development and evaluation of environmental models*. Environmental Modelling & Software, 21(5), 602-614. doi:10.1016/j.envsoft.2006.01.004.
- Jeuland, M. (2010). *Economic implications of climate change for infrastructure planning in transboundary water systems: An example from the Blue Nile*. Water Resources Research, 46(11). doi:10.1029/2010wr009428.
- Kampragou E., Mylopoulos Y., Kolokytha E., Vagiona D. and Elefteriadou E. (2006). *Hydrodiplomacy in practice: Transboundary Water Management in Northern Greece*. Protection and Restoration of the Environment VIII, Chania , Greece.
- Kirkwood, C.W. (2002). *Decision Tree Primer, Department of Supply Chain Management*. Arizona State University, 2002.
- Latinopoulos D. (2002). *The economic value of irrigation water: Analysis and critical assessment of valuation studies*. MSc dissertation, Department of Economics, UCL, London.
- Loukas A., Domenikiotis C. and N.R. Dalezios (2003). *The Use of NOAA/AVHRR Satellite Data for the Monitoring and Assessment of Forest Fires and Floods*. Natural Hazards and Earth Systems Sciences.
- Loukas, A. and L. Vasiliades (2004). *Probabilistic Analysis of Drought Spatiotemporal Characteristics in Thessaly Region, Greece*. Natural Hazards and Earth Systems Sciences.
- Loukas, A., L. Vasiliades, C. Domenikiotis, and N.R. Dalezios (2005). *Basin-wide Actual Evapotranspiration Estimation Using NOAA/AVHRR Satellite Data*. Physics and Chemistry of the Earth.
- Loukas, A., N. Mylopoulos and L. Vasiliades, (2007). *A Modeling System for the Evaluation of Water Resources Management Scenarios in Thessaly*. Water Resources Management.

- Lund, J. R., Cai, X., & Characklis, G. W. (2006). *Economic Engineering of Environmental and Water Resource Systems*. Journal of Water Resources Planning and Management, 132(6), 399-402. doi:10.1061/(asce)0733-9496(2006)132:6(399).
- Massarutto, A. (2003). *Water pricing and irrigation water demand: economic efficiency versus environmental sustainability*. Environmental Policy and Governance, 13(2), pp. 100-119, <https://doi.org/10.1002/eet.316>.
- Medellín-Azuara, J., Howitt, R. E., Macewan, D. J., & Lund, J. R. (2011). *Economic impacts of climate-related changes to California agriculture*. Climatic Change, 109(S1), pp. 387-405. doi:10.1007/s10584-011-0314-3.
- Molinos-Senante, M., Reif, R., Garrido-Baserba, M., Hernández-Sancho, F., Omil, F., Poch, M. & Sala-Garrido, R. (2013). *Economic valuation of environmental benefits of removing pharmaceutical and personal care products from WWTP effluents by ozonation*. Sci.Total Environ. 461–462:409–415. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.009>.
- Moore, M., Gollehon, N. & Carey, M. (1994). *Multicrop Production Decisions in Western Irrigated Agriculture: The Role of Water Price*. American Journal of Agricultural Economics (76), pp. 859-874.
- Pearce, D. & Ozdemiröglu, E. (2002). *Economic valuation and stated preference techniques*. Department for Transport, Local Government and the Regions, London.
- Peña-Haro, S., Pulido-Velazquez, M. & Sahuquillo, A. (2009). *A hydro-economic modelling framework for optimal management of groundwater nitrate pollution from agriculture*. Journal of Hydrology (373), pp. 193–203. doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.04.024.
- Perry, C.J. (2001). *Water at Any Price? Issues and Options in Charging for Irrigation Water, Irrigation and Drainage*, 50(1), pp. 1-7.
- Qadir M., A.D. Noble, J.D. Oster, S. Schubert and A. Ghafoor, 2005. *Driving forces for sodium removal during phytoremediation of calcareous sodic and saline-sodic soils: a review*. Soil Use Manage 21: 173-180.
- Renwick, M. (2001). *Valuing water in a multiple-use system: Irrigated agriculture and reservoir fisheries*. Irrigation and Drainage Systems, (15), pp. 149-171.
- Rodriguez, M., Fernandez, F., Correa, J., Ferrer, E. & Ferrero, N. (2002). *Evaluation of Irrigation Projects and Water Resource Management: A Methodological Proposal*. Sustainable Development, (10), pp. 90-102.
- Rogers, P., de Silva, R. & Bhatia, R. (2002). *Water Is an Economic Good : How to Use Prices to Promote Equity, Efficiency, and Sustainability*. Water Policy (4):1–17. doi: 10.1016/S13667017(02)00004-1.
- Rosegrant, M. (2005). *Water Resources and Food Security to 2025: Challenges and Trade-offs*. World Bank Water Week (March 2, 2005).

- Rosenberg, D.E., Tarawneh, T., Abdel-Khaleq, R. & Lund, J.R. (2007). *Modeling integrated water user decisions in intermittent supply systems*. Water Resources Research 43(7), doi: 10.1029/2006WR005340.
- Schoengold, K., Sunding, D. L., & Moreno, G. (2006). *Price elasticity reconsidered: Panel estimation of an agricultural water demand function*. Water Resources Research, 42(9). doi:10.1029/2005wr004096.
- Serageldin, I. (1995). *Water Resources Management: A new Policy for a Sustainable Future*. Water Resources Development, 11(3), pp. 221-232.
- Sharifi M., M. Ghorbanli and H. Ebrahimzadeh, 2007. *Improved growth of salinitystressed soybean after inoculation with salt pre-treated mycorrhizal fungi*. J Plant Physiology 164:1144-1151.
- Sidiropoulos, P., Mylopoulos, N. & Loukas A. (2013). *Optimal Management of an Overexploited Aquifer under Climate Change: The Lake Karla Case*. Water Resources Management (2013)27, pp. 1635–1649. DOI 10.1007/s11269-012-0083-4.
- Sidiropoulos P., Loukas A. and Georgiadou I. (2016). *Response of a degraded coastal aquifer to water resources management scenarios: The case of Almyros aquifer, Magnesia, Central Greece*. European Water, 55: 67-77.
- Small, L.E. & Carruthers, I. (1991). *Farmer financed irrigation, the economics of reform*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Tietenberg, T. & Lewis, L. (2011). *Environmental & Natural Resource Economics*. Boston: Pearson. (νέα Αγγλική έκδοση του Ελληνικού κύριου βοηθήματος).
- Tsur, Y., Roe, T., Doukkali, R., & Dinar, A. (2004). *Pricing irrigation water: Principles and cases from developing countries*. Resources for the Future. Washington, DC, DOI: 10.4324/9781936331635.
- Turner, K., Georgiou, S., Clarke, R., Brouwer, R. & Burke J. (2004). *Economic valuation of water resources in agriculture*. From the sectoral to a functional perspective of water resources management. FAO Water Reports No. 27, FAO, Rome.
- U.S. E.P.A. (2000). *Guidelines for Preparing Economic Analyses*. U.S. Environmental Protection Agency.
- U.S.EPA, 2004. *Guidelines for Water Reuse*. EPA/625/R-04/108.
- USDA Soil Conservation Service (1970). *Irrigation Water Requirements*. Tech, Release No 21 (rev.), 92 p.
- Van Haandel A. and van der Lubbe J., 2007. *Handbook biological wastewater treatment. Design and optimization of activated sludge systems*. Quist Publishing, Leidschendam The Netherlands.
- WATECO (2002). *Economics and the Environment: The Implementation challenge of the Water Framework Directive, a Guidance Document*. Working Group 2.6, WATECO.

- WATECO (2002). Common Implementation Strategy Working Group 2. EU Guidance Document: Economics and the Environment. *The Implementation Challenge of the Water Framework Directive*. August 2002, available at .
- WATECO (2003). *Economics and the Environment: The Implementation Challenge of the Water Framework Directive*. Accompanying Documents to the Guidance, European Commission, Brussels.
- WFD Common Implementation Strategy – Progress and Work Programme (2003/2004). 17 June 2003.
- W.H.O. - World Health Organization, (1989). *Health guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture*. W.H.O. Technical Report Series 778, Geneva, Switzerland.
- WISE (2008). *Απειλούμενα υπόγεια ύδατα: Διαχείριση των υδάτων του υπεδάφους*. Σημείωση σχετικά με την οδηγία για τα ύδατα 3, Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΓΔ Περιβάλλοντος), ISBN 978-92-79-14745-6-EL, Μάρτιος, 2008.
- Young, R.A. & Haveman, R.H. (1985). *Economics of Water Resources: a Survey*, in: Kneese A. and Sweeney J. (eds) *Handbook of Natural Resource and Energy Economics*, Vol II, pp. 465-529, Elsevier Science Publishers.
- Young, R.A. (1996). *Measuring Economic Benefits for Water Investments and Policies*. World Bank Technical Paper No. 338, Washington, D.C.
- Young, R.A. 2005. *Determining the economic value of water, Concepts and methods*. Resources for the future. Washington, DC, USA, 357 p.
- Varela-Ortega, C., Blanco-Gutiérrez, I., Swartz, C.H. & Downing, T.E. (2011). *Balancing groundwater conservation and rural livelihoods under water and climate uncertainties: An integrated hydro-economic modeling framework*. *Global Environmental Change* (21), pp. 604–619. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2010.12.001.
- Volk, M., Hirschfeld, J., Dehnhardt, A., et al. (2008). *Integrated ecological-economic modelling of water pollution abatement management options in the Upper Ems River Basin*. *Ecological Economics* (66), pp. 66–76. doi: 10.1016/j.ecolecon.2008.01.016.
- Xue Z.Y., D.Y. Zhi, G.P. Xue, H. Zhang, Y.X. Zhao and G.M. Xia, 2004. *Enhanced salt tolerance of transgenic wheat (Triticum aestivum L.) expressing a vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter gene with improved grain yields in saline soils in the field and a reduced level of leaf Na⁺*. *Plant Science* 167:849–859.
- Zhang H.X. and E. Blumwald, 2001. *Transgenic salt-tolerant tomato plants accumulate salt in foliage but not in fruit*. *Nature Biotechnol.* 19:765-768.
- Zhao C., Y. Wanga, Y. Songa and B. Lib, 2004. *Biological drainage characteristics of alkalized desert soils in north-western China*. *J. Arid Environ* 56:1-9.

